

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 485

В. И. ХОМИЧ

ПРИЕМНЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ

Издание второе, дополненное и переработанное



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.396.677.76
Х76

В книге изложены основные принципы расчета и конструирования приемных ферритовых антенн. Описаны особенности расчета и изготовления антенн портативных приемников, а также телевизионных антенн с использованием ферритов. Рассмотрены некоторые новые принципы конструирования ферритовых антенн и описана методика измерения их параметров.

Книга рассчитана на подготовленного радиолюбителя.

Хомич Вадим Иванович

Приемные ферритовые антенны. М. — Л., Госэнергоиздат, 1963. 64 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 485).

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *Н. А. Бульдяев*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 26/IV 1963 г. Подписано к печати 13/VIII 1963 г.
Т-09031 Бумага 84×108¹/₃₂ 5,24 п. л. Уч. из. л. 4,0 Тираж 90000 экз.
Цена 16 коп. Зак. 1319

Типография № 1 Государственного издательства литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, г. Владимир.

ВВЕДЕНИЕ

Характерной чертой современного развития радиоэлектроники явилось широкое использование новых магнитных материалов. Малые потери энергии и постоянство характеристик в диапазоне радиочастот, а также ряд других замечательных свойств магнитных материалов обусловили быстрое и успешное их внедрение в практику конструирования радиоустройств.

Использование магнитных материалов привело к появлению новых радиодеталей и к разработке схем, улучшающих параметры аппаратуры. К числу таких элементов радиоаппаратуры относится новый тип магнитных антенн — так называемые ферритовые антенны, ставшие в последние годы обязательным элементом каждого современного приемника. Столь широкое распространение ферритовых антенн объясняется прежде всего их небольшими размерами и свойственной им пространственной избирательностью, позволяющей «отстроиться» от источников помех изменением положения антенны.

Направленные свойства ферритовых антенн (различная степень усиления радиоволн, приходящих с различных направлений) могут быть широко использованы в навигационных устройствах для определения направления на радиомаяки, т. е. специальные радиопередатчики, сигналы которых помогают прокладывать курс или определять местоположение судов или самолетов.

Большое распространение получили ферритовые антенны в так называемых «карманных» и переносных приемниках. Собранные на полупроводниках, эти приемники, малогабаритные и экономичные, являются неизменными спутниками туристов в дальних походах и путешествиях.

Приемные свойства магнитных антенн оцениваются величиной и скоростью изменения магнитного потока, пронизывающего сечение такой антенны. Несмотря на то, что магнитные антенны используются в переменных полях, понятия магнитостатики (науки о постоянных магнитных полях) часто оказываются весьма плодотворными и широко используются при расчете магнитных антенн.

Простейшей магнитной антенной является рамка — виток электрического проводника, длина которого много меньше длины волны. Напряжение ее на выводах определяется площадью рамки, т. е. площадью, охватываемой витком. Недостатком рамки является ее малая по сравнению с электрическим диполем действующая высота. Если, например, диполь общей длиной 2 *м* «свернуть» в круглую рамку,

то действующая высота рамки на волне $\lambda=30$ *м* будет в 15 раз меньше действующей высоты диполя.

Введение внутрь рамки магнитного сердечника улучшает приемные свойства рамки вследствие увеличения магнитного потока в ней. Практическое использование рамок с магнитными сердечниками на самолетах позволило выявить еще одно интересное свойство магнитных антенн — их способность принимать энергию электромагнитных волн в непосредственной близости с металлической поверхностью. Более того, магнитная антенна может быть даже расположена в углублениях металлической поверхности, так сказать «заподлицо» с нею, без ущерба для качества приема. Однако до недавнего времени антенны с магнитными сердечниками применялись мало вследствие низкого качество сердечников и увеличения потерь в антенне. Разработка новых магнитных материалов — ферритов позволила улучшить приемные свойства магнитных антенн, уменьшив их размеры.

Появлению ферритов предшествовало длительное развитие магнитных материалов, история которых уходит в далекое прошлое.

Открытие и промышленное применение переменного тока в прошлом веке потребовали разработки специальных материалов, пригодных для создания мощных магнитных полей. Таким материалом явились железо и его сплавы. Появление телеграфии и телефонии, использовавших слабые электрические токи более высоких частот, предъявило новые требования к магнитным материалам, а начавшееся в нашем столетии развитие радиотехники привело к необходимости еще выше поднять частотную границу магнитных материалов.

В соответствии с повышением требований техники развивались и совершенствовались магнитные материалы. От сплошных металлических сердечников переходили к пластинчатым, ленточным и проволочным сердечникам с целью уменьшения потерь на вихревые токи.

Другим путем уменьшения потерь в сердечниках явилось применение магнитодиэлектриков — материалов, в которых частицы размельченного ферритового вещества разделены между собой диэлектриком. К числу таких материалов принадлежат широко известные альсифер и карбонильное железо. Использовался некоторое время для изготовления магнитодиэлектриков и порошок магнитной руды — магнетит (феррит железа).

Несмотря на успехи в развитии магнитных материалов, они до недавнего времени (примерно до 1946 г.) не могли удовлетворить требованиям, предъявляемым к ним электроникой. Лишь появление ферритов — оксидных ферромагнетиков, сочетающих в себе высокие магнитные свойства с большим удельным сопротивлением, указало путь дальнейшего развития магнитных материалов. Исследования ферритов позволили открыть у них ряд новых свойств, что в свою очередь привело к развитию новых элементов аппаратуры. Современные магнитные антенны выполняются, за редким исключением, на ферритовых сердечниках, вследствие чего и получили название ферритовых антенн.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ И ЭЛЕМЕНТЫ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свойства ферритов тесно связаны с их кристаллической решеткой — строго определенным размещением атомов (ионов) вещества, отчего во многом зависят физические свойства материалов: твердость, хрупкость и т. п. Кристалл феррита железа имеет кубическую форму, т. е. атомы железа и кислорода расположены в нем по вершинам куба. Эти атомы жестко связаны между собой и соседними кристаллами силами внутреннего притяжения. В кристаллической решетке феррита железа атомы двухвалентного железа можно заменить атомами других металлов (если эти атомы двухвалентны и имеют примерно равный с атомами железа диаметр), так как в этом случае кубическая кристаллическая решетка в новом материале будет сохранена.

Наиболее «удобными» для размещения железа являются атомы металлов — марганца, магния, цинка, меди, никеля, кобальта.

Магнитные свойства ферритов зависят от вида металлических атомов «заместителей» и их геометрического размещения в кристаллической решетке. Так, если у феррита железа заместить часть двухвалентных атомов железа атомами цинка, то магнитная проницаемость резко увеличится, а проводимость уменьшится.

Большинство изготовляемых промышленностью оксидных ферромагнетиков представляет собой смешанные ферриты — твердые растворы двух или более простых ферритов (простым ферритом называют феррит, у которого атомы железа замещаются атомами одного элемента).

Технология изготовления сердечников из ферритов мало отличается от технологии производства изделий из керамики. Существуют два метода приготовления ферритовых масс. Один — смешением окислов металлов, другой — смешением растворов солей. По первому методу окислы в определенном соотношении смешиваются, прессуются в брикеты и проходят предварительный обжиг при температурах 800—1 100° С. По второму методу смешанные растворы солей выпариваются, прокаливаются для получения смеси окислов и далее, как при первом методе, прессуются и обжигаются. Второй метод позво-

ляет получить более высокие магнитные характеристики материалов с меньшим технологическим разбросом.

Брикеты, прошедшие предварительный обжиг, далее размалываются в порошок в шаровых или вибрационных мельницах. Полученный порошок после рассева идет для приготовления пресс-массы. В пресс-массу вводится пластификатор (поливиниловый спирт, парафин), количество которого зависит от технологии дальнейшей обработки материала: при протяжке и литье добавляется 10—15% поливинилового спирта, а при прессовании 6—8%. Температура окончательного обжига изделий из ферритов зависит от марки феррита и лежит в пределах 900—1 400° С. Обжиг ферритов обычно ведется в окислительной среде, но марганцевые ферриты обжигаются в нейтральной среде — в вакууме.

В зависимости от технологии изготовления усадка сердечников из ферритов при обжиге может достигать 15%. Незначительные отклонения температуры обжига изменяют электрические и магнитные свойства ферритов и величину усадки. Поэтому для получения сердечников с однородными свойствами и с размерами в пределах допусков требуется строгое соблюдение режима обжига. Ферриты почти не поддаются механической обработке, их можно обрабатывать только абразивами, например корундом. Механическая обработка ферритов на стенках может привести к утрате магнитных свойств ферритов — резкому увеличению потерь, снижению проницаемости.

Ферриты относятся к классу полупроводников и в зависимости от состава и технологии изготовления могут иметь удельное сопротивление электрическому току от 10^2 до 10^8 *ом/см*. В то же время магнитные металлические материалы имеют сопротивление порядка $(10 \div 15) \cdot 10^{-6}$ *ом/см.* Благодаря высокому удельному сопротивлению катушки с сердечниками из ферритов могут иметь очень большие добротности, превышающие 500 на низких частотах (порядка нескольких килогерц) и 300 на частотах 500—1 000 *кгц*.

Основной характеристикой магнитного материала является магнитная проницаемость μ. Под воздействием поля напряженностью H в материале возникает магнитная индукция B, измеряемая теперь (в системе СИ) в теслах (1 *тл*=10 000 *гс*). Индукция выражает собой силу, с которой поле воздействует на единичный магнитный заряд (фиктивный), и отнесена к единице площади сечения. Таким образом, магнитная проницаемость вещества служит как бы коэффициентом пропорциональности между напряженностью и индукцией. На практике проницаемость вещества оценивается относительной величиной (по отношению к магнитной проницаемости вакуума) и является безразмерной.

Магнитную проницаемость ферритов можно считать постоянной лишь в первом, грубом приближении. В действительности она зависит от формы тела, амплитуды приложенного поля, частоты, наличия и величины постоянного магнитного поля, температуры и магнитной предыстории материала.

Наиболее существенна зависимость магнитной проницаемости от величины намагничивающего поля.

На рис. 1 приведена основная характеристика магнитного материала — петля гистерезиса, показывающая зависимость индукции B от напряженности намагничивающего поля H. Величина магнитной проницаемости μ определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой намагничивания и изменяется в зависимости от намагничивающего поля в значительных пределах. Для ферритов, используемых в приемных антеннах, наибольшее значение имеет начальная магнитная проницаемость μ_0 — проницаемость материала при очень малых значениях напряженности намагничивающего поля. Площадь гистерезиса характеризует магнитные потери материала (потери на гистерезис), величина B_r — остаточную индукцию, а B_s — индукцию насыщения. В зависимости от особенности петли гистерезиса ферриты делятся на магнитно-мягкие и магнитно-жесткие. Высокое отношение B_r/B_s важно для магнитных переключателей, применяющихся в счетно-решающих устройствах и магнитных усилителях и является характерным для магнитно-жестких ферритов. И, наконец, последняя величина, указанная на рисунке, $\mu_{макс}$ называется максимальной магнитной проницаемостью, значение которой весьма существенно для строчных трансформаторов, дросселей и других устройств, работающих при больших напряженностях поля.

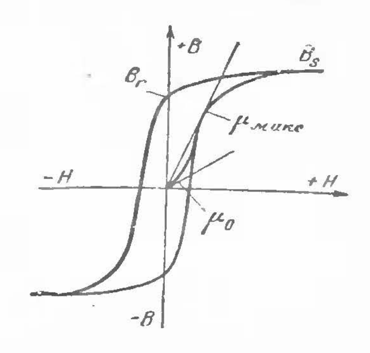


Рис. 1. Кривая намагничивания и петля гистерезиса феррита.

На рис. 2 показаны типичные кривые гистерезиса основных магнитных материалов (трансформаторной стали, пермаллоя и феррита), применяющихся в электротехнике. Эти кривые характеризуют основные особенности указанных материалов. В частности, для «магнитно-мягкого» феррита характерны относительно малые величины проницаемости и индукции насыщения B_s и почти полное отсутствие остаточной индукции B_r.

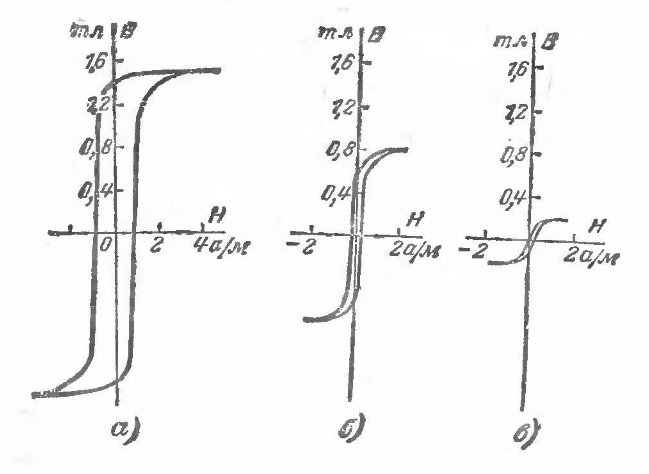


Рис. 2. Кривые гистерезиса.

а — трансформаторной стали; *б* — пермаллоя; *в* — феррита.

Из-за высокого удельного сопротивления ферритов потери на вихревые токи в них практически отсутствуют, площадь петли гистерезиса мала и преобладающими являются потери на последействие или магнитную вязкость, возрастающие с частотой. Частота, при которой начинаются резкое возрастание потерь и падение проницаемости, называется граничной или критической. На рис. 3 приведены

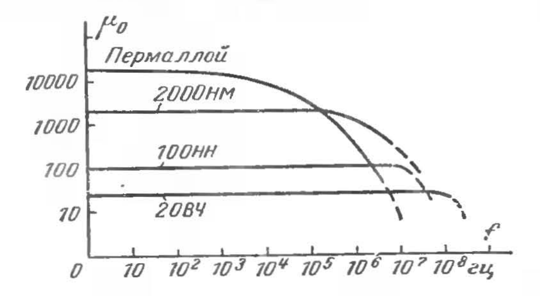


Рис. 3. Зависимость магнитной проницаемости ферритов от частоты.

зависимости магнитной проницаемости различных магнитных материалов от частоты.

Недостаток ферритов — низкая температурная стабильность, т. е. магнитная проницаемость их изменяется вместе с изменением окружающей температуры. Степень изменения проницаемости оценивается температурным коэффициентом проницаемости ТКμ, показывающим относительное изменение проницаемости при изменении температуры на один градус.

Рис. 4. График изменения магнитной проницаемости и произведения μQ в зависимости от температуры.

На рис. 4 приводятся типичные кривые, характеризующие изменение магнитной проницаемости и частично потерь (произведение μQ) с ростом температуры. Как видно из этого рисунка, проницаемость ферритов с ростом температуры сначала медленно растет, а затем круто падает в области, близкой к 80—130° С. Температура, при которой наступает потеря магнитных свойств, называется точкой Кюри. Величина этой температуры зависит от химического состава ферритов (у марганцевых ферритов, например, она несколько выше, чем у никель-цинковых), а также от режима обжига. Магнитные потери ферритов, так же как и проницаемость, зависят от величины поля, конфигурации сердечника, типа намотки. Значение магнитных потерь материала оценивается обычно тангенсом угла потерь tgδ — величиной,

обратной добротности эталонной тороидальной катушки. В области низких температур (ниже нуля) магнитная проницаемость ферритов быстро падает. Исключение составляют лишь ферриты типа граната, сохраняющие высокие магнитные свойства даже при температуре до —190° С.

Более общий метод потерь в магнитном материале осуществляется с помощью введения мнимой части в величину магнитной проницаемости. Тогда магнитная проницаемость выражается комплексной величиной

$$\dot{\mu} = \mu' + j\mu'',$$

где μ' отображает собственно магнитную проницаемость тела, а μ'' — величину магнитных потерь, выраженную через магнитную проницаемость, т. е.

$$\mu'' = \mu' \operatorname{tg}\delta \approx \mu \frac{R_{\text{м}}}{\omega L}.$$

Диэлектрическая проницаемость ферритов, как правило, имеет большие значения лишь на низких частотах — от тысяч (для никель-цинковых ферритов) до десятков тысяч (у марганцевых ферритов). Характерной особенностью диэлектрической проницаемости ферритов является ее зависимость от частоты; она уменьшается сначала резко до величины порядка нескольких десятков, а затем монотонно падает до 10—15 в области граничных частот.

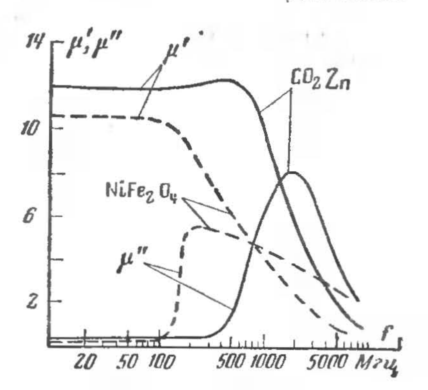


Рис. 5. Магнитные спектры ферроксланов (по зарубежным данным).

В табл. 1 приводятся параметры основных отечественных ферритов, которые могут быть использованы в качестве сердечников магнитных антенн. Приводимые в таблице данные получены на тороидальных катушках с однородной намоткой, обеспечивающих наиболее однородное замкнутое поле.

В эту таблицу не вошли данные новых магнитных материалов — ферроксланов, имеющих большие перспективы применения в диапазоне метровых и дециметровых волн. Ферроксланы (неметаллические ферромагнетики с гексагональной кристаллической решеткой) по сравнению с ферритами обладают повышенной магнитной проницаемостью на частотах свыше 100 *Мгц*. По своему химическому составу они еще ближе к керамике, нежели ферриты, так как в их составе процентный вес железа значительно более низок, чем у ферритов. Магнитная проницаемость ферроксланов не превышает нескольких десятков. На рис. 5 приведены характерные кривые зависимости μ' и μ'' от частоты одного из ферроксланов (по данным зарубежной печати).

Таблица 1

Марка материала сердечника	Начальная проницаемость	Максимальная проницаемость	Тангенс угла потерь при частоте 100 *кгц*	Изменение проницаемости в течение года, %	Температурный коэффициент, $\times 10^{-6}$	Граничная частота, *кгц*
3000 НМ	3 000	6 000	0,05	—	3 500	200
2000 НН	2 000	4 500	0,04	0,7	3 000	450
2000 НМ	2 000	4 000	0,025	—	3 500	450
1000 НН	1 200—800	2 000	0,02	0,5	—	750
600 НН	660—540	1 400	0,017	0,5	6 000	1 200
400 НН	400	800	0,013	0,5	2 000	1 500
100 НН	100	500	0,008	0,75	4 000	4 000
20 ВЧ	16—24	100	0,005[1]	0,5	1 000	15 000
15 ВЧ	15—11	40	0,006[2]	0,5	—	—
10 ВЧ	10	17	0,007[2]	—	—	—

[1] При частоте 5 *Мгц*.
[2] При частоте 20 *Мгц*.

Приведенные выше данные магнитных и электрических свойств ферритов характеризуют их лишь в самом общем виде. Интересным является поведение этих магнитных материалов за границами обычных условий. Поэтому остановимся на некоторых особенностях поведения ферритов вне нормальных условий применений, которые могут быть использованы и уже используются на практике.

Прежде всего рассмотрим более широко частотные характеристики ферритов, имея в виду изменение их магнитной проницаемости и величины потерь в большом диапазоне частот, в том числе и за пределами граничной частоты, — так называемые магнитные спектры ферритов.

На рис. 6 приводятся кривые магнитных спектров некоторых ферритов. Общим для всех ферритов является резкий спад магнитной проницаемости, которому предшествует обычно рост потерь. Как видно из этого рисунка, возрастание потерь сменяется затем некоторым их уменьшением, иначе говоря, изменение потерь в некотором интервале частот носит резонансный характер.

Современная теория ферромагнетизма объясняет природу этого своеобразного явления свойствами доменов — областей магнитного материала, в которых магнитные моменты отдельных частиц имеют предпочтительную направленность. Границей между доменами («стенкой» домена) считается район, в котором предпочтительная ориентация частиц в одном домене сменяется другой. На стенку домена, помимо переменного магнитного поля, воздействуют силы кристаллической решетки (упругие силы) и силы инерции, вследствие чего на определенной частоте в этой системе возможно возникновение упругих колебаний, как в обычном контуре, состоящем из индуктивности и емкости. Упругие колебания или релаксация доменов (если потери велики) феноменологически проявляются в виде поглощения энергии, а все явление в целом носит название доменного резонанса.

С прикладной точки зрения наибольший интерес вызывает не поведение потерь, а сопутствующее доменному резонансу падение вели-

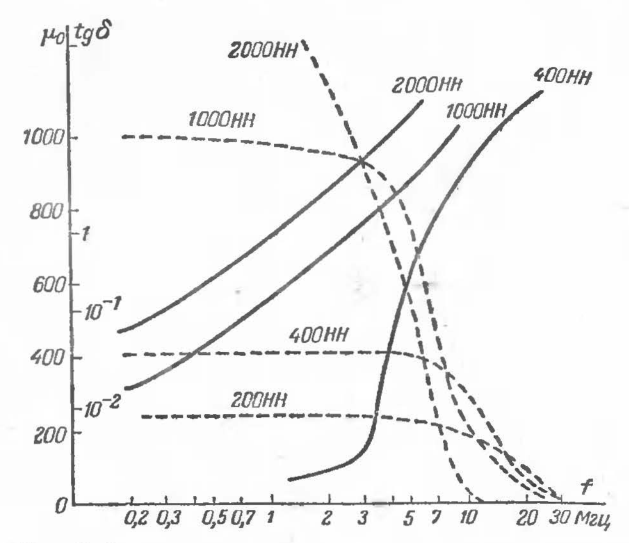


Рис. 6. Кривые изменения магнитной проницаемости μ_0 (пунктирные) и потерь $tg\ \delta$ (сплошные) от частоты.

чины магнитной проницаемости. Плавное уменьшение магнитной проницаемости с ростом частоты представляет собой уникальное свойство ферритов, позволяя увеличить диапазонность отдельных элементов антенных цепей (трансформаторов, антенных задержек и т. п.).

Частота доменного резонанса и крутизна спада частотной зависимости проницаемости различны для разнотипных ферритов, поэтому при конструировании элементов антенных цепей с использованием ферритов за пределами граничной частоты всегда можно выбирать материал, обеспечивающий малое изменение реактивного сопротивления при значительных изменениях частоты. Наиболее заметно падение магнитной проницаемости в диапазоне коротких волн (1—20 *Мгц*).

Многообразие свойств ферритов ведет к открытию новых технических возможностей. Так, например, недавно открыты и ныне широко исследуются сегнетоэлектрические свойства некоторых ферритов. Разработка ферритов, обладающих ярко выраженными сегнетоэлектрическими свойствами, позволит значительно более просто преобразовать энергию магнитного поля в электрическую энергию и наоборот.

Большое внимание уделяется исследованию эффекта Холла (появление в некоторых полупроводниках э.д.с., величина которой про-

порциональна величине магнитного поля). Ферритовые сердечники в устройствах, использующих эффект Холла, играют роль концентраторов высокочастотного магнитного поля и при достаточно высокой чувствительности датчиков могут найти применение в качестве антенн.

2. СЕРДЕЧНИКИ МАГНИТНЫХ АНТЕНН И АНТЕННЫЕ КАТУШКИ

Свойства магнитных тел во многом зависят от их формы. Данные о магнитной проницаемости, приведенные в табл. 1, характеризуют начальную проницаемость μ_0 тороидальных сердечников. Сердечники ферритовых атенн имеют вытянутую форму, т. е. длина их значительно превосходит толщину, ширину или диаметр. Другой отличительной особенностью антенных сердечников является наличие воздушного зазора между концами (полюсами). Магнитная проницаемость таких тел зависит от соотношения между длиной и площадью сечения сердечника.

Объяснение этой зависимости может быть дано, исходя из самой природы магнетизма. В ферромагнитном теле под действием намагничивающего поля происходит переориентация магнитных моментов ферромагнитных частиц таким образом, что положительные полюсы смещаются в направлении внешнего поля, а отрицательные — навстречу ему. Ориентировочные частицы создают дополнительное магнитное поле, противодействующее внешнему полю. Величина дополнительного или размагничивающего поля определяется размерами тела: чем тело короче по сравнению с поперечными размерами, тем больше сказывается влияние размагничивающего поля. Учет влияния этого поля относительно прост лишь для эллипсоидальных сердечников и выражается введением коэффициента размагничивания N, зависящим от соотношения между большой и малой осями эллипсоида. Величина размагничивающего коэффициента изменяется от 0 (для бесконечно длинного эллипсоида) до 1 (для диска). Магнитная проницаемость тела с учетом его формы и размеров изывается действующей проницаемостью $\mu_д$. Она измеряется в относительных единицах и показывает, во сколько раз увеличивается плотность магнитного потока в данном теле по сравнению с плотностью потока в вакууме.

Действующая проницаемость эллипсоида определяется следующей простой формулой:

$$\mu_д = \frac{\mu_0}{1 + \frac{N}{4\pi}(\mu_0 - 1)}.$$

На практике сердечники антенн в подавляющем большинстве случаев имеют форму, отличную от эллипсоида (цилиндрическую, параллелепипеда, призмы). Поправку на форму сердечника можно определить либо по экспериментальным кривым, выражающим зависимость $\mu_д = f\left(\frac{l}{d}\right)$ (рис. 7), либо по таблицам (табл. 2), либо по эмпирическим формулам. Хорошие результаты дает, например, следующая формула:

$$\mu_д = \frac{\mu_0}{1 + 0{,}84\left(\frac{d}{l}\right)^{1{,}7}(\mu_0 - 1)},$$

где d — диаметр цилиндрического сердечника;
l — его длина.

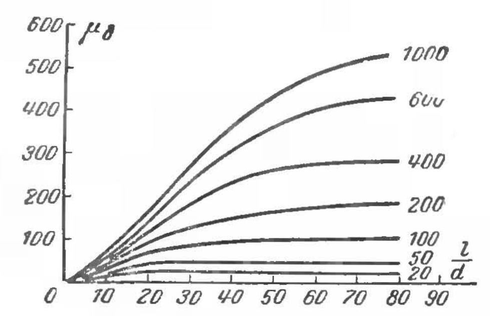


Рис. 7. Зависимость действующей магнитной проницаемости $\mu_д$ сердечника от отношения его длины l к диаметру d.

Выбор марки феррита целиком определяется назначением антенны и рабочим диапазоном частот. Практически считается, что для антенн длинноволнового диапазона наиболее целесообразно использовать сердечник с магнитной проницаемостью 2000 или 1000, а для диапазона средних волн — 1000 или 600. В антеннах коротких волн имеет смысл применять сердечники с начальной магнитной проницаемостью порядка 400—100, а в антеннах УКВ — порядка 50—10.

Таблица 2

$\frac{l}{d}$	$\mu_д$ для сердечников с начальной проникаемостью			
	$\mu_0 = 5$	$\mu_0 = 10$	$\mu_0 = 100$	$\mu_0 \geqslant 200$
1	2,25	3,0	3,2	3,5
2	3,3	4,6	6,5	8
3	3,85	6,0	10	12
4	4,2	6,7	15	18
5	4,35	7,2	20	24
6	4,5	7,8	25	31
8	4,7	8,3	34	37
10	4,8	9,1	41	>63
15	4,85	9,4	52	>78
20	4,9	9,6	60	>95

Форма сечения сердечника играет значительно меньшую роль по сравнению с соотношением продольных и поперечных размеров или выбором материала сердечника. Обычно она выбирается, исходя из конструктивных соображений. Наиболее часто применяются круглые сечения, реже — прямоугольные (пластинчатые сердечники), еще реже — сечения в виде правильных многоугольников (призматические сердечники). Могут использоваться также полые цилиндрические сердечники. Дело в том, что на высоких частотах неравномерное распеределение магнитного потока по сечению сердечника, аналогичное поверхностному эффекту, приводит к плохому использованию магнитного материала во внутренних областях сердечника. Отсюда и вытекает целесообразность применения полых сердечников — малоэффективные области магнитопровода исключаются.

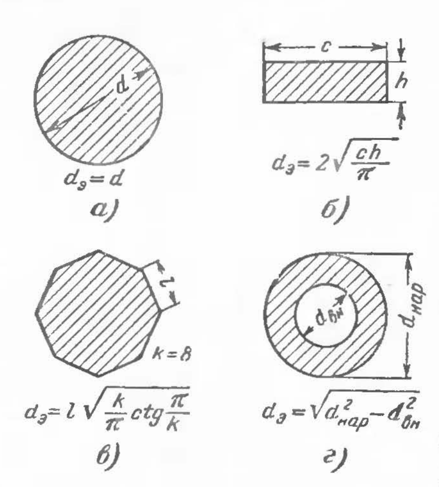


Рис. 8. Сечения и эквивалентный диаметр сердечников.

При расчете эффективной проницаемости все виды сечения сердечников ферритовых антенн приводятся к круглому. Формулы для определения диаметра $d_э$, равновеликого по площади круга, приводятся на рис. 8.

Следует отметить, что за рубежом для миниатюрных ферритовых антенн широко используются пластинчатые сердечники с очень малым отношением h/c и малым l/c. Целесообразность применения таких сердечников в печати не освещалась. Можно предположить, что выбор сердечника подобной формы был сделан из-за высоких требований к использованию объема приемника, хотя и в ущерб его чувствительности.

Иногда появляется необходимость изготовления «ломаных» сердечников, к числу которых принадлежит, например, Z-образный сердечник (рис. 9). Такой сердечник при направленном приеме позволяет менять положение антенны без изменения положения катушки. Сердечник подобной конфигурации можно получить, склеивая отдельные его части (горизонтальные и вертикальные) клеем БФ или эпоксидной смолой. Соприкасающиеся поверхности сердечника должны быть отшлифованы и приклеены в соответствии с общепринятой технологией, применяемой при пользовании тем или иным клеем. При склеивании необходимо следить за температурой, при которой высушивается сердечник, с тем чтобы она не поднималась до точки Кюри.

Антенная катушка является составным элементом ферритовой антенны. На рис. 10 представлено схематическое изображение внешнего поля, видоизмененного под влиянием внесенного ферритового стержня, и внутреннего поля антенной катушки. Взаимосвязь обоих полей определяет приемные свойства самой антенны.

Антенная катушка ферритовой антенны выполняется обычно в виде многовитковой катушки и является частью (индуктивной ветвью) входного контура. Электрические свойства ее выражаются индуктивностью L и добротностью Q — величиной, оценивающей потери катушки и зависящей от отношения индуктивного сопротивления настроенной катушки к ее активному сопротивлению. Обе эти величины L и Q находятся в зависимости от свойств сердечника: его магнитной проницаемости и магнитных потерь, относительного расположения катушки и сердечника и т. п. На рис. 11 обозначены наиболее существенные физические размеры, характеризующие расположение антенной катушки.

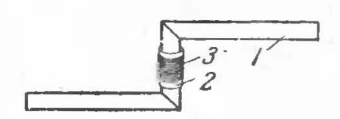


Рис. 9. Z-образная ферритовая антенна.

Использование ферромагнитного сердечника в антенной катушке приводит к увеличению ее индуктивности. Индуктивность воздушной (без сердечника) катушки L_0 (в генри) определяется обычно формулой

$$L_0 = w^2 d_к \Phi \cdot 10^{-9},$$

где w — число витков;

$d_к$ — диаметр катушки, *см*;

Φ — постоянная, зависящая в основном от отношения диаметра катушки к ее длине.

Значение Φ вычисляется при $0{,}25 < a/d_к < 1{,}3$ по формуле

$$\Phi = 1 + 6\frac{d_к}{a},$$

где a — длина катушки.

Индуктивность антенной катушки с ферритовым стержнем увеличивается в число раз, определяемое коэффициентом $\mu_к$, называемым иногда «катушечной» проницаемостью.

Коэффициент $\mu_к$ численно выражает перераспределение магнитных сопротивлений на пути магнитного потока, происшедшее в катушке индуктивности при введении сердечника. Магнитное сопротивление внутреннего участка пути магнитного потока в воздушной катушке превышает сопротивление внешнего участка примерно в 6—10 раз (в зависимости от конструкции катушки). Введение стержня внутрь катушки резко уменьшает магнитное сопротивление внутреннего участка; оно становится пренебрежимо малым по сравнению с сопротивлением внешнего участка. В соответствии с этим меняется и величина $\mu_к$. В зависимости от начальной магнитной проницаемости сердечника, размеров его и конструкции катушки $\mu_к$ меняется в пределах 5—12. Таким образом, индуктивность катушки с сердечником превышает индуктивность катушки без сердечника в 5—12 раз.

Изменение произведения $\Phi\mu_к$ средневолновой ферритовой антенны при относительном увеличении длины катушки a/l для $l=200$ *мм*, $d=8$ *мм*, $\mu_0=200$ и $w=30$ показано на рис. 12. На величину $\mu_к$ (а следовательно, и индуктивность катушки) влияет положение катушки на сердечнике: чем дальше отодвинута катушка от центра

стержня, тем меньше индуктивность ее (рис. 13). Этим эффектом часто пользуются при регулировке индуктивности антенной катушки. Несмотря на конструктивные удобства подобной регулировки, следует иметь в виду, что при перемещениях катушки от центра магнитный поток в сечении стержня уменьшается (из-за неравномерности поля в сердечнике), что приводит к уменьшению наводимой в катушке э.д.с. e по сравнению с э.д.с. $e_{макс}$ катушки, расположенной в центре (рис. 13).

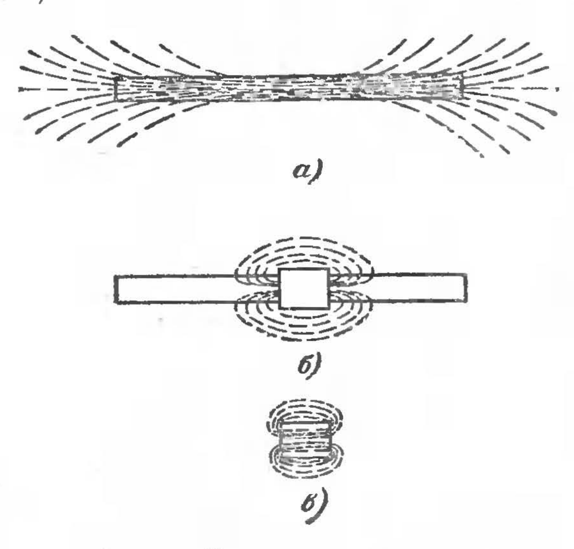


Рис. 10. Магнитные силовые линии.
а — внешнего поля; б — поля антенной катушки; в — поля катушки без сердечника.

Добротность антенной катушки в значительной степени определяет приемные свойства ферритовой антенны. При условии, что отсутствуют дополнительные источники потерь в контуре, она прямо пропорциональна величине напряжения входного контура.

Эквивалентная схема антенной катушки (рис. 14) изображается в виде последовательно включенных активного сопротивления обмотки катушки $R_к$, сопротивления магнитных потерь $R_м$ и индуктивности L. Для обычных ферритовых антенн $R_к < R_м$ и поэтому добротность, определяемая по формуле

$$Q = \frac{2\pi f L}{R_к + R_м},$$

зависит в основном от магнитных свойств сердечника. Потери в магнитных сердечниках могут быть выражены формулой

$$R_м = b\mu f^2 L + a\mu f B L + c\mu f L,$$

где L — индуктивность катушки, *гн*;
f — частота, *гц*;
b — коэффициент вихревых токов, обратно пропорциональный удельному сопротивлению;
a — коэффициент гистерезиса, зависящий от площади петли гистерезиса;
c — коэффициент, зависящий от магнитной вязкости материала

Наиболее интересным в этой формуле является отчетливая связь между величиной магнитных потерь и величинами индуктивности

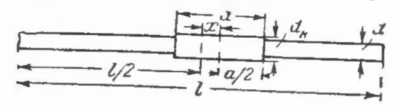


Рис. 11. Конструктивные обозначения размеров ферритовой антенны.

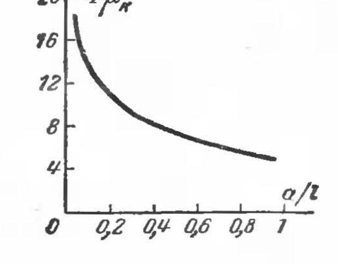


Рис. 12. Изменение произведения $Ф\mu_к$ при относительном увеличении длины антенной катушки.

и индукции антенной катушки. Чем больше индуктивность и индукция внутреннего поля катушки, тем больше потеря в ней.

Поскольку величины a и b для ферритов малы, то и общее сопротивление потерь мало. Приведенное выше равенство применимо к ферритам лишь в области частот ниже критической, начиная с которой проницаемость и добротность материала начинают быстро падать. За критическую принимается частота, на которой добротность снижается до 10.

Выдающийся русский физик В. К. Аркадьев, исследовавший природу магнитных материалов, еще в 1912 г. предсказывал, что, помимо вихревых токов, в магнитных материалах действуют и другие факторы, приводящие к росту потерь и падению магнитной проницаемости. Первым из таких факторов является доменный резонанс, описанный нами выше.

Вторым фактором является ферромагнитный резонанс, который возникает, когда частота приложенного переменного поля совпадает с частотой так называемой прецессии. Электроны вещества, помимо вращения по орбите, вращаются вокруг своей оси. Магнитный момент этого вращения ориентирован в общем случае произвольно. При воздействии на электрон постоянного магнитного поля, направленного по оси магнитного момента, и внезапно приложения поперечного поля возникает прецессия — относительно медленное вращение магнитного момента.

Было замечено также, что при воздействии поперечного магнитного поля на ферритовую пластину, помещенную в волноводе, некоторые типы волн поглощаются пластиной, т. е. часть энергии волн идет на поддержание прецессии. Другие волны распространяются в этом волноводе без потерь. Эти явления наиболее ярко выражены при совпадении частоты прецессии и частоты поля. Таким образом, один и тот же материал обладает различными свойствами для различно

поляризованных волн. Частота прецессии зависит от величины постоянного поля. Это явление наблюдается обычно на частотах порядка нескольких тысяч мегагерц, когда материал насыщается приложенным к нему сильным постоянным магнитным полем. Резонанс проявляется в виде резкого возрастания потерь и изменения проницаемости для полей определенной поляризации. Явление ферромагнитного резонанса, точнее зависимость частоты резонанса от величины приложенного постоянного поля, широко используется в диапазоне СВЧ.

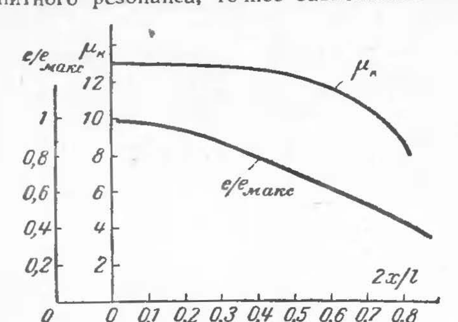


Рис. 13. Зависимость $\mu_к$ от отношения $l/l_{макс}$ при изменении положения катушки на сердечнике.

Размерный резонанс возникает в сердечниках, размеры которых соответствуют половине длины электромагнитной волны. Такое явление может возникнуть, в частности, в марганцево-цинковых ферритах, в которых магнитная проницаемость достигает значения 1 000, а диэлектрическая проницаемость 100 000. Размерный резонанс проявляется также, как и в ранее описанных случаях, в виде увеличения потерь.

Возвращаясь к определению магнитных потерь антенных катушек, следует отметить, что приведенная формула носит качественный характер, так как коэффициенты *a*, *b*, и *c* весьма трудно определить заранее. Аналитическое определение величины потерь возможно лишь для некоторых идеальных условий. Так, с помощью упоминавшегося ранее понятия комплексной магнитной проницаемости получены формулы, выражающие, в частности, зависимость полного сопротивления антенны и ее добротности от параметров стержня и намотки. Активное сопротивление антенны, имеющей сердечник в виде эллипсоида и сплошную по всей длине намотку, выражается формулой

Рис. 14. Эквивалентная схема антенной катушки.

$$R_м = 2\pi f \mu_в w^2 \frac{s\Phi \mu'' (1 - N)}{10a [1 + N (\mu' - 1)]^2},$$

где $\mu_в$ — проницаемость воздуха а добротность для малых антенн — формулой

$$Q = \frac{\mu' [1 + N (\mu' - 1)]}{\mu'' (1 - N)}.$$

На практике сопротивление потерь и добротность катушки определяются экспериментально (путем измерений).

Остановимся подробнее на применяемых в антенных катушках видах намотки. Вид намотки катушки в значительной мере влияет на свойства антенны. При выборе его следует исходить из числа витков, диапазона работы антенны, размеров сердечника и диаметра применяемого провода.

В длинноволновом и средневолновом диапазонах наиболее употребительна сплошная (виток к витку) однорядная намотка (при диаметрах сердечника до 10 *мм*), однако более выгодной, обеспечивающей лучшие приемные свойства (но и более трудоемкой), является распределенная намотка с принудительным шагом (равномерным или прогрессивным). Такая намотка возможна при относительно малом числе витков (не более 30), когда диаметр стержня достаточно велик. Распределенная намотка применяется также и в катушках коротковолновых и особенно ультракоротковолновых антенн.

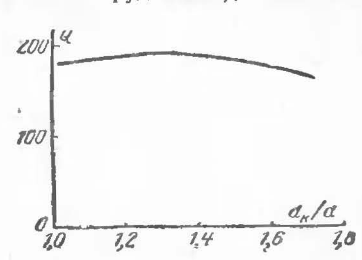


Рис. 15. Зависимость добротности антенной катушки от отношения диаметров катушки и сердечника

Иногда антенная катушка разбивается на секции. Это делается как для удобства переключения диапазонов, так и для получения наибольшей эффективности ферритовой антенны. Более подробные сведения по расчету секционированных антенных катушек будут приведены в следующей главе.

Конструкция антенной катушки (ее длина и диаметр) оказывает существенное влияние на добротность. В частности, если при неизменных размерах стержня и одном и том же числе витков антенной катушки увеличивать диаметр каркаса, то добротность катушки сначала увеличивается, достигает некоторого максимума, после чего начинает уменьшаться (рис. 15). Увеличение диаметра антенной катушки приводит в то же время к некоторому уменьшению действующей проницаемости сердечника $\mu_д$, которое можно учитывать с помощью формулы

$$\mu'_д = \frac{D^2_{ср}}{d^2} (\mu_д - 1) + 1,$$

где $D_{ср}$ — средний диаметр обмотки антенной катушки;
d — диаметр стержня.

Увеличение длины катушки приводит обычно также к некоторому уменьшению ее добротности.

Каркас катушки для антенн длинноволнового и средневолнового диапазонов выполняется обычно из прессшпана. Для коротковолнового и в особенности ультракоротковолнового диапазонов следует использовать материалы с малыми потерями, такие как полистирол, фторопласт.

Выбор марки провода антенной катушки оказывается весьма важным в том случае, когда отметка выполняется сплошной (виток к витку). Для катушки средневолнового диапазона применение лит-

цендрата 9×0,7 дает увеличение Q на 150—200% по сравнению с обычным медным эмалированным приводом. При намотке с шагом 1,5—2 *мм* влияние марки провода на качество катушки незначительно.

3. КОНСТРУКЦИИ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН И ПУТИ ИХ РАЗВИТИЯ

Основным типом ферритовых антенн в настоящее время является описанная выше антенная катушка (рамка) с ферритовым сердечником. Этот тип антенн развивался в основном по пути совершенствования видов намотки, выбора оптимальных форм и материала сердечника.

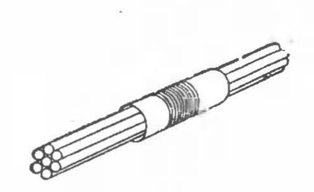


Рис. 16. Антенна с сердечником из пучка стержней.

Сравнительный расчет приемной ферритовой антенны показывает, что при правильно выполненных элементах входа она обычно сравнима по эффективности с штырем в 1—2 *м*. В ряде случаев подобная эффективность оказывается недостаточной, вследствие чего возникает необходимость увеличения действующей высоты ферритовой антенны. Практика конструирования ферритовых антенн накопила достаточный опыт в области повышения эффективности. Все эти методы приводят к некоторому усложнению конструкции.

Самым простым путем повышения эффективности является увеличение геометрических размеров сердечника. Выигрыш обусловливается при этом тем, что индуктивность антенной катушки растет с увеличением диаметра сердечника пропорционально первой степени этого увеличения, в то время как действующая высота пропорциональна квадрату диаметра. Неудобство этого метода заключается в увеличении размеров и веса сердечника, так как рост диаметра должен сопровождаться ростом длины с тем, чтобы действующая проницаемость сердечника осталась неизменной. Иначе говоря, увеличение диаметра ведет к резкому увеличению объема и, следовательно, веса сердечника (удельный вес феррита около 5 *г/см*³).

Иногда встречается затруднение в выборе сердечника соответствующего диаметра. Выход из этого затруднения может быть найден в использовании набора цилиндрических стержней, связываемых для этого в пучок. При этом полезная площадь сечения такого сердечника, определяющая действующую высоту, увеличивается в $Z^{0,42}$ раз, где Z — число стержней в пучке, а индуктивность — в $Z^{0,38}$ раз, если отношение l/d достаточно велико. На рис. 16 показана конструкция сердечника антенны, изготовленного из пучка цилиндрических стержней.

Другой метод увеличения действующей высоты ферритовой приемной антенны состоит в последовательном или параллельном соединении нескольких ферритовых антенн. Идея последовательного соединения нескольких антенн близка к идее секционирования антенной катушки. Действительно, разбивая антенную катушку на две части, размещая эти части на двух стержнях и соединяя их последовательно, мы уменьшаем индуктивность антенны почти в 2 раза, так как связь между антеннами уже при расстоянии в 2—3 *см* друг от друга ничтожно мала. Это позволяет увеличить общее число витков в обеих катушках примерно в $\sqrt{2}$ раз при сплошной намотке. Если такое расчленение антенной катушки произвести на трех стержнях, то число витков можно увеличить примерно в $\sqrt{3}$ раз, на четырех — примерно в 2 раза и т. д. Следует, однако, отметить, что увеличению числа стержней сопутствует увеличение связи между ними и поэтому индуктивность антенной катушки, намотанной на n стержнях, уменьшается меньше чем в n раз, так как индуктивность каждой из частей будет равна:

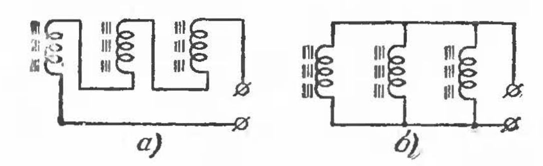


Рис. 17. Схемы соединения антенных катушек

а — последовательное соединение; *б* — параллельное соединение.

$$\frac{L_{\text{общ}}}{n}\,(1+K_1+K_2+\cdots+K_{n-1}),$$

где $K_1, K_2, \ldots, K_{n-1}$ — коэффициенты взаимоиндукции.

При последовательном соединении отдельных антенн стержни должны быть параллельны, а отдельные катушки антенны не должны быть включены навстречу друг другу, что достигается одинаковой намоткой катушек и соответствующим соединением концов обмоток (рис. 17,*а*).

Параллельное соединение отдельных антенных катушек (рис. 17,*б*) приводит к таким же положительным результатам. При отсутствии или малой связи между двумя антенными катушками, включенными параллельно, индуктивность такой антенны уменьшается вдвое, что также может быть компенсировано увеличением числа витков в $\sqrt{2}$ раз. Аналогично, как и при последовательном включении, при большом числе стержней появляется возможность большего увеличения чисел витков, а следовательно, увеличения эффективности антенны. Препятствием к увеличению числа стержней здесь, помимо указанных выше факторов, следует считать быстрое увеличение собственной емкости ферритовой антенны. На рис. 18 представлена фотография ферритовых антенн УКВ диапазона с параллельным включением антенных катушек.

Некоторый выигрыш в эффективности может быть достигнут путем применения сердечников с переменным (по длине) сечением. В этом случае утолщенные части сердечника используются как концентраторы внешнего поля. В качестве примера рассмотрим ферритовую антенну, сердечник которой имеет переменное сечение в виде приведенного на рис. 19,*а*. Измерения, проведенные с ферритами,

имеющими малую магнитную проницаемость, показывают, что если на расстоянии трети от концов сердечника его диаметр увеличить вдвое, оставив диаметр средней части неизменным, то действующая высота антенны возрастет в 2,5—3 раза, а индуктивность антенной катушки при этом — всего лишь на 20—30%. Указанные соотношения размеров фигурного сердечника приведены лишь в качестве примера и, вероятно, неполностью характеризуют максимальный выигрыш, который может быть получен с помощью предлагаемого метода.

Рис. 18. Внешний вид ферритовых ультракоротковолновых антенн.

Другим путем увеличения магнитного потока является применение сердечника, состоящего из частей, обладающих разными магнитными свойствами (рис. 19, *б*). В частности, для концентрации магнитного потока внешнего поля большая часть сердечника выполняется из материала с повышенной магнитной проницаемостью, в то время как несущая антенную катушку часть сердечника, материал которой определяет добротность антенны, может быть выполнена из феррита с меньшей проницаемостью, но и с меньшими потерями.

Некоторой модификацией этого метода может быть введение в сердечник немагнитного зазора. В этой конструкции (рис. 19, *в*) сердечник антенны состоит из двух половинок, скрепленных с помощью прокладки (шайбы) из полистирола (приклеивается к сердечнику эпоксидной смолой). Введение такой прокладки увеличивает в 1,5 раза добротность антенной катушки при увеличении числа витков ее на 20%. Толщина прокладки берется порядка 1—1,5 *мм*.

Возможны, конечно, и комбинации обоих методов: сердечники с фигурным профилем могут собираться из различных частей, состоящих из отличающихся по свойствам магнитных материалов. Соединению их должна предшествовать тщательная шлифовка сочленяющихся поверхностей. Следует учесть, что неплотное прилегание поверхностей феррита уменьшает его магнитную проницаемость.

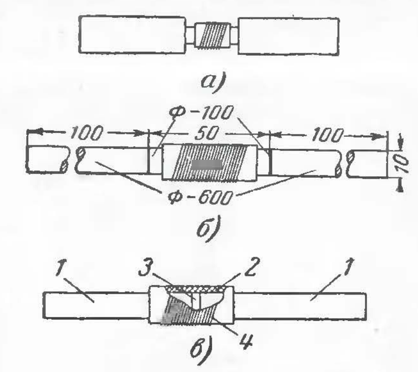


Рис. 19. Ферритовые антенны с неоднородными сердечниками.

а — с переменным сечением; *б* — с переменной проницаемостью; *в* — с немагнитным зазором (*1* — сердечник, *2* — каркас, *3* — прокладка, *4* — обмотка).

Учет этого уменьшения может быть произведен по формуле

$$\mu_з = \frac{\mu_д}{r(\mu_д - 1) + 1},$$

где $\mu_з$ — действующая проницаемость сердечника с зазором;
r — отношение длины воздушной прослойки к общей длине сердечника.

Для улучшения диаграммы направленности в ферритовых антеннах применяется электростатический экран, изготовляемый из хорошо проводящего материала и повторяющий по форме сердечник антенны. При этом проводящая поверхность экрана не должна образовывать контуров тока, совпадающего по направлению с током в антенной катушке. Для этого, например, в цилиндрическом экране по всей его длине прорезается щель. Практика показывает, что экран должен располагаться на достаточном удалении от антенной катушки (не ближе 1 *см*). В качестве материала для экрана обычно используется тонкая посеребренная латунная или бронзовая фольга. В некоторых конструкциях для экрана применяется ткань (нейлоновая или другая) с вплетенными в нее тончайшими металлическими нитями. Возможно также применение металлических покрытий.

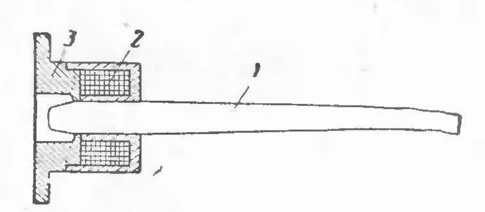


Рис. 20. СВЧ ферритовая антенна.

1 — ферритовый стержень; *2* — модулятор; *3* — фланец волновода.

В рассмотренных нами конструкциях ферритовых антенн предусматривалась классическая схема их включения. Считалось, что антенная катушка является частью настроенного антенного контура. Естественным при этом был выбор материала сердечника с малыми магнитными потерями. Однако в некоторых случаях представляется целесообразным применение ферритов, граничная частота которых ниже рабочего диапазона антенны. Такие антенны можно назвать апериодическими, так как при этом сопротивление потерь обычно превышает индуктивное сопротивление антенной катушки. Одна из таких антенн описана ниже (стр. 53).

Ферритовые антенны применяются также и в диапазоне СВЧ. В основу их положен принцип диэлектрической антенны (использование феррита в качестве среды для распространения радиоволн). Благодаря относительно высокой диэлектрической проницаемости феррита (10—14 в диапазоне СВЧ) такая антенна имеющая вид длинного усеченного конуса, способна обеспечить получение однолепестковой диаграммы направленности шириной не более 25° с коэффициентом усиления порядка 40 в 3-сантиметровом диапазоне волн.

Схематический чертеж такой антенны представлен на рис. 20. Антенна состоит из ферритового стержня длиной около 11 *см*, наибольшим диаметром не меньше 6 *см* и наименьшим диаметром 0,38 *см*, модулирующей катушки, короткой секции круглого волновода для

возбуждения стержня, фильтра и короткой секции обычного прямоугольного волновода. Излучающий стержень изготовлен из феррита с малыми потерями $tg\delta=0,0013$ и диэлектрической проницаемостью $\varepsilon=13,6$. Заполненная ферритом секция круглого волновода имеет внутренний диаметр 6,25 и длину около 19 *мм*. Фильтр представляет собой медный ленточный проводник (толщиной 0,5 и шириной 1,5 *мм*), проходящий через феррит. Волна, возбуждаемая в прямоугольном волноводе, переходит затем в секцию круглого волновода,

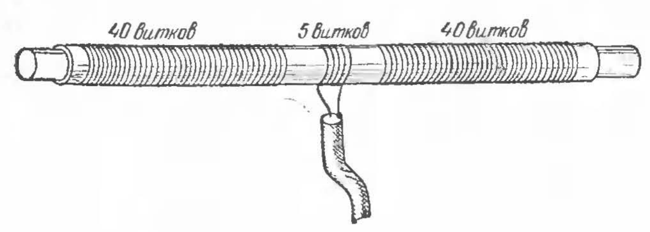


Рис. 21. Спиральная ферритовая передающая антенна.

заполненную ферритом. Присутствие ферритового стержня заставляет волну, возбужденную в круглом волноводе, распространяться далее по стержню, как по волноводу переменного сечения. Однако в отличие от волновода, где металлические стенки полностью экранируют внутреннее поле, волна, распространяющаяся по ферритовому стержню, лишь частично отражается от границы раздела с воздухом, в остальном же во всех точках поверхности она выходит наружу. В результате этого диаграмма направленности ферритовой СВЧ антенны получается значительно более острой, чем, например, диаграмма направленности открытого конца волновода. Она зависит от площади поперечного сечения тела феррита по всей его длине, диэлектрической и магнитной проницаемости, длины стержня и др.

Описанная ферритовая антенна, помимо своего основного назначения (излучение электромагнитной энергии), используется и в качестве модулятора. Роль последнего выполняет катушка, которая питается током около 10 *ма*. В результате эффекта Фарадея продольное магнитное поле, вызванное соленоидом, поворачивает плоскость поляризации волны так, что потери в фильтре резко возрастают, ослабляя уровень сигнала более чем в 100 раз.

Простота такой антенны, ее малые размеры, а также возможность управления позволяют конструировать многорядные решетки с большим коэффициентом усиления и управляемой электрическим способом диаграммой направленности.

Разрабатываются и новые конструкции ферритовых антенн. Так, в одном из иностранных журналов описана ферритовая коротковолновая антенна, применявшаяся в качестве передающей. Устройство ее показано на рис. 21. В качестве сердечника здесь применен толстый (5 *см* в диаметре) ферритовый брус длиной около 1 *м*. С электрической точки зрения подобная антенна представляет собой горизонтальный вибратор с очень большим искусственным «укорочением» (коэффициент укорочения такой антенны в зависимости от марки феррита и способа намотки может достигать 100 и более), изменяю-

щимся с частотой. Вследствие этого в коротковолновом диапазоне (1—10 *Мгц*) эта антенна имеет несколько острых резонансов, представляя собой «гармониковый» провод.

Входное сопротивление этой антенны резко меняется с изменением частоты от единиц до нескольких тысяч ом. Настройке такая антенна не поддается и практического значения пока не имеет. Однако примечательным в этой конструкции представляется использование феррита в качестве среды, изменяющей параметры токоносителя — его индуктивность и емкость.

Близка по идее к описанной так называемая «спиральная антенна», испытанная автором в диапазоне 150—300 *Мгц*. Антенна представляет собой спираль с малым (3—5) числом витков, навитую на цилиндрический ферритовый сердечник диаметром 25 и длиной 250 *мм* с проницаемостью $\mu_0=15$. Она устанавливалась на металлическом листе, к которому припаивалась оплетка питающего коаксиального кабеля; жила кабеля соединялась со спиралью в верхнем ее конце. Входное сопротивление антенны было во всем диапазоне близким к 150 *ом*. Однако к.п.д. ее оказался весьма низким (не более 10%), что объясняется прежде всего возрастающими с частотой магнитными потерями.

Более удачным оказалось применение ферритов в качестве элемента компенсации в обычной электрической антенне — вибраторе. При этом существенными оказываются размещение ферритовых элементов по длине вибратора, а также марка феррита. Конструкция такой антенны, предназначенной для телевидения, описана более подробно в последней главе.

Рис. 22. Щелевая цилиндрическая антенна.

1 — ферритовый сердечник; *2* — питающий кабель; *3* — щель; *4* — проводящий цилиндр; *5* — основание.

Принципиально возможны и другие типы ферритовых антенн. Рассмотрим некоторые наиболее перспективные из них.

Большой интерес представляет использование ферритов в щелевых антеннах. Щелевая цилиндрическая антенна, внешний вид которой показан на рис. 22, весьма близка к рамочной антенне как по распределению тока на ее поверхности, так и по поляризационным свойствам. Поверхность ее представляет собой виток, причем диаметр витка (для воздушной щелевой антенны) составляет примерно треть, а высота антенны — несколько больше половины длины волны. Действующая высота щелевой антенны равна длине щели, а входное сопротивление зависит от точки подсоединения кабеля и изменяется от 600 до 150 *ом*. Эта антенна обладает резонансными свойствами, причем частота резонанса определяется длиной щели при условии, что диаметр цилиндра должен быть достаточным во избежание шунтирования витком малой индуктивности. С помощью феррита можно сократить диаметр цилиндрической щелевой антенны примерно в число раз, равное корню из действующей магнитной проницаемости сердечника.

Не менее перспективна антенна, основанная на использовании эффекта Холла. Как уже говорилось, ферритовый сердечник может быть использован в качестве концентратора магнитного поля, воздействующего на датчик. В этом случае датчики целесообразно поместить в малый зазор между двумя стержнями — концентраторами, тогда магнитный поток в зазоре $\Phi_з = k\Phi$, где k может быть порядка 0,25. Расчеты показывают, что в настоящее время «вольтовая» чувствительность датчиков является недостаточной для конструирования эффективных антенн, однако в будущем подобные антенны представляются вполне реальными.

ГЛАВА ВТОРАЯ

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИЕМНЫХ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

4. ПРИЕМНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

Приемная антенна преобразует энергию электромагнитного поля в электрические колебания, усиливаемые далее приемником. Качество этого преобразования может быть оценено действующей высотой антенны h — коэффициентом, связывающим напряженность электри-

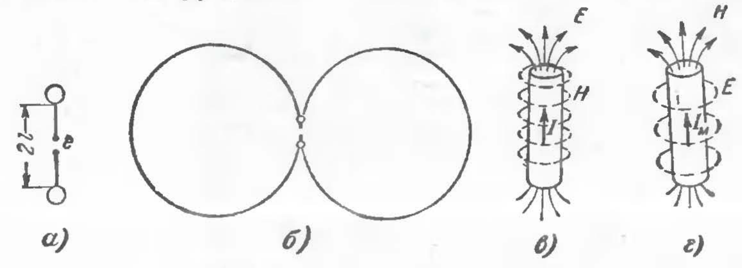


Рис. 23. Поля элементарных вибраторов.

а — вибратор Герца; *б* — диаграмма направленности вибратора Герца; *в* — магнитное и электрическое поля вибратора Герца; *г* — то же для магнитного вибратора.

ческого поля с величиной e — э.д.с., развиваемой антенной. Действующая высота зависит от соотношения между геометрическими размерами антенны и длиной принимаемой волны и измеряется в единицах длины.

Классической моделью простейшей антенны является вибратор Герца (рис. 23,*а*). Действующая высота вибратора Герца равна его длине $2l$, и, следовательно, э. д. с. антенны определяется простой формулой

$$e = hE = 2lE.$$

Его способность принимать радиоволны из окружающего пространства неодинакова и выражается диаграммой направленности $A \sin \varphi$ (рис. 23,*б*), которая показывает отношение э.д.с. антенны, наведенной волной данного направления, к наибольшей э. д. с., возбуждаемой при приеме с главного направления. Главные направления приема для вибратора Герца лежат в экваториальной плоскости, т. е. плоскости, перпендикулярной оси вибратора и проходящей через его центр.

Структура электрического и магнитного полей элементарного электрического вибратора показана на рис. 23,*в*. Так как все электрические величины (ток, напряжение, напряженность поля) имеют свои магнитные аналогии, то в соответствии с этим можно легко представить по аналогии с электрическим вибратором и идеальный магнитный вибратор, поля которого изображены на рис. 23,*г*. Из сравнения их с полями электрического вибратора видно, что символы E и H поменялись местами, а вместо реального электрического тока I на рисунке показан магнитный ток смещения $I_м$.

Для магнитных антенн, однако, более употребительна не величина тока смещения, а величина магнитного потока, возбужденного внешним полем. Величина же последнего оценивается произведением индукции на величину сечения. Отсюда можно определить связь между внешним полем и величиной э.д.с. в антенной катушке. Для гармонических колебаний э.д.с. в магнитной антенне определяется выражением

$$e = -j\,\omega BSw,$$

откуда легко получается формула действующей высоты, приводимая ниже.

Различие между электрическими и магнитными антеннами наглядно видно из сравнения сопротивлений излучения их. Сопротивление излучения характеризует мощность излучения передающей антенны при условии, что ток или напряжение на входе антенны заданы. Оно связано с действующей высотой простой формулой

$$r_\Sigma = 20\,(mh)^2,$$

где

$$m = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Подставив в эту формулу значение действующей высоты ферритовой антенны, можно вычислить, что сопротивление излучения ее составляет всего лишь доли ома. В то же время сопротивление излучения электрических антенн достигает десятков ом (в частности, для полуволнового вибратора оно равно 73 *ом*). Однако проигрыш в сопротивлении излучения частично компенсируется высоким качеством антенного контура, включающего ферритовую антенну, приводящим в конечном итоге к увеличению тока в антенной катушке или напряжения на ее зажимах.

Действующая высота ферритовой антенны определяется величиной магнитного потока в сердечнике и степенью связи этого потока с антенной катушкой. В соответствии с этим в расчетную формулу, определяющую действующую высоту h, входят действующая проницаемость сердечника $\mu_д$, площадь его сечения S, длина рабочей волны λ и число витков антенной катушки w:

$$h = \frac{2\pi S}{\lambda}\, w\, \mu_д.$$

Антенная катушка, как уже говорилось, используется в качестве индуктивности входного контура, который подключается обычно непосредственно к входу приемника. Наилучшие результаты ферритовая антенна дает при использовании в первом каскаде приемника электронной лампы. В этом случае, если входное сопротивление лампы $R_{вх.л}$ значительно превосходит эквивалентное сопротивление контура $R_{экв}$, не оказывая шунтирующего действия на него (т. е. соблюдается условие $R_{вх.л} \gg R_{экв}$), то напряжение на контуре увеличивается в Q раз. Величиной Q оценивается качество входного контура, определяющееся в основном добротностью катушки $Q_к$. Входной контур предстает, таким образом, в виде трансформатора э.д.с., наводимой в антенне. Часто для обозначения суммарного действия антенны и входного контура прибегают к понятию «приведенная действующая высота» или «эффективность ферритовой антенны», которое определяют формулой

$$h' = hQ.$$

Понятие h' позволяет, зная напряженность электромагнитного поля, определить значение напряжения $U_{вх}$ на управляющей сетке входной лампы, которое выражается в следующем виде:

$$U_{вх} = Eh'.$$

Пользуясь приведенными формулами, можно провести сравнение приемных антенн, в частности двух наиболее распространенных типов комнатных антенн: обычного вертикального провода длиной 2 *м* и ферритовой антенны, встроенной внутрь приемника, сердечник которой имеет длину 200 *мм*, диаметр 15 *мм* и начальную проницаемость $\mu_0 = 200$. Добротность антенной катушки ферритовой антенны примем равной 200 (принимаем, что $w = 75$, $\mu_д = 70$ и $L = 0,8$ *мгн*). Сравнительный расчет будем вести на частоте 1 *Мгц* ($\lambda = 300$ *м*).

Параметр	Вертикальный провод	Ферритовая антенна
Коэффициент усиления входной цепи	3	200
Действующая высота	2 *м*	0,02 *м*
Эффективность	6 *м*	4 *м*
Напряжение на сетке лампы при $E = 100$ *мкв/м*	600 *мкв*	400 *мкв*

Как показывает расчет, ферритовая антенна несколько уступает по эффективности вертикальному проводу длиной 2 *м*, однако она более компактна. Ферритовая антенна обладает рядом других ценных качеств. Высокая добротность входного контура, в который входит катушка ферритовой антенны, обеспечивает хорошую избирательность входного сигнала по частоте, уменьшая помехи от соседних станций. Ширина полосы пропускания (полоса частот, в которой ослабление мощности сигнала не превышает 2) может быть найдена как частное от деления значения частоты на добротность. Для нашего случая ($f = 1$ *Мгц*) ширина полосы пропускания составит всего 5 *кгц*, а при ослаблении в 10 раз — около 40 *кгц*. Узкая полоса пропускания на входе приемника способствует лучшей защите от шумов индустриального происхождения (разряды электрического тока, импульсные помехи и т. п.), которые содержат широкий спектр частот. Высокая

избирательность ферритовой антенны позволяет в ряде случаев отказаться в приемнике от усилителя высокой частоты, поскольку помехи по зеркальному каналу резко ослабляются.

Не менее ценным качеством ферритовой антенны является возможность осуществления пространственной избирательности изменением ее ориентировки. Диаграмма направленности такой антенны в горизонтальной плоскости представлена на рис. 24 и имеет вид «восьмерки» для волн нормальной поляризации. Если в частном случае на антенну воздействует, помимо полезного сигнала, мешающий сигнал с другого направления, то, поворачивая антенну на некоторый угол φ, можно значительно ослабить мешающий сигнал. Минимумы приема (нули диаграммы направленности) расположены по оси сердечника. При горизонтальной поляризации приходящего сигнала (вектор электрической напряженности поля расположен горизонтально) для осуществления приема необходимо антенну расположить вертикально. В этом случае диаграмма направленности ферритовой антенны становится круговой и поэтому можно осуществить всенаправленный прием.

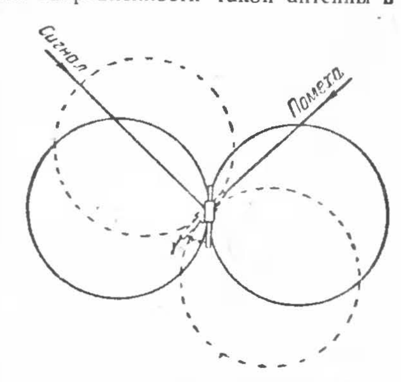


Рис. 24. Пространственная избирательность ферритовой антенны.

Наиболее общее представление о направленных свойствах ферритовой антенны дает пространственная фигура — тороид с внутренним радиусом, равным нулю, и осью симметрии, совпадающей с осью сердечника. Следует отметить, что прием возможен лишь в том случае, когда ось сердечника лежит вне плоскости поляризации (так называется плоскость, включающая в себя вектор электрической напряженности поля и направление распространения), причем максимальное значение э.д.с. антенны получается в том случае, когда ось сердечника перпендикулярна плоскости поляризации.

Все сказанное относительно диаграмм направленности относится к классическому виду ферритовых антенн — рамке с циркулирующим по замкнутому контуру током, а также к щелевым антеннам и антеннам, использующим эффект Холла. Антенна, в которой феррит используется в качестве среды, изменяющей электрические характеристики токопровода, т. е. антенна с незамкнутым токопроводом, сохраняет направленные свойства обычных электрических антенн.

Иногда при использовании ферритовых антенн требуется получить всенаправленную диаграмму, обеспечивающую прием волн нормальной поляризации с любого направления. Такая диаграмма направленности для приема вертикально поляризованных волн может быть получена использованием комбинации из двух взаимно перпендикулярных антенн, расположенных в горизонтальной плоскости. Обязательным условием получения всенаправленной диаграммы яв-

ляется обеспечение сложения э. д. с. обеих антенн в квадратуре (со сдвигом фазы, близким к 90°).

Постоянство фазового сдвига может быть получено, если связь между антеннами осуществляется индуктивным путем. Наиболее просто этого можно достичь при близком расположении (друг над другом) двух антенн, каждая из которых настроена в резонанс отдельным конденсатором. Величина фазового сдвига зависит от степени связи. Так, например, фазовый сдвиг в 90° получается при критической связи. Следует отметить, что ненаправленная антенна описанной конструкции обеспечивает повышенную (до полутора раз) эффективность по сравнению с одиночной антенной.

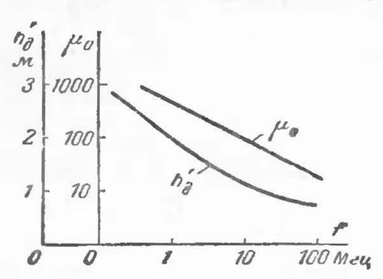


Рис. 25. Изменение начальной проницаемости и действующей высоты на различных частотах.

В заключение рассмотрим ферритовую антенну с энергетической стороны — определим ее к. п. д., который, как и у всякой антенны, оценивается отношением сопротивления излучения r_Σ к сопротивлению потерь $r_п$, т. е.

$$\eta_A = \frac{r_\Sigma}{r_\Sigma + r_п}.$$

Для большей наглядности преобразуем выражение для к.п.д. через наиболее употребительные параметры антенны. Сумма в знаменателе может быть записана как частное от деления реактивного сопротивления антенной катушки на добротность антенного контура. Тогда формула для к.п.д. приобретает следующий вид:

$$\eta_A = \frac{20(mh)^2 Q}{X_L} \approx 2,09 \frac{W_0}{X_L} \cdot \frac{h^2}{\lambda^2},$$

где W_0 — волновое сопротивление свободного пространства, равное 120 *ом*.

Из выведенной формулы очевидны пути увеличения к.п.д. ферритовой антенны. Решающим фактором на этом пути является увеличение действующей высоты h антенны. Существенно также увеличение добротности Q при сохранении или даже уменьшении значения реактивного сопротивления X_L антенной катушки.

Оценим к.п.д. ферритовой антенны с количественной стороны, пользуясь данными предыдущего сравнительного расчета, где мы получили h=0,02 *м* при λ =300 *м*. Реактивное сопротивление антенной катушки составляет примерно 5 *ком*, и, следовательно, к.п.д. антенны будет равен $1,3 \cdot 10^{-5}$%. Как видим, к.п.д. антенны чрезвычайно низок, вследствие чего ферритовые антенны чрезвычайно редко используются в качестве передающих.

Одним из интересных примеров использования ферритовой антенны в качестве передающей можно назвать применение ее в спасательном передатчике. Такими передатчиками, весящими 3,6 *кг* и размещенными вместе с ферритовыми антеннами (две антенны, включенные параллельно) в цилиндрическом корпусе длиной 50 и диаметром 10 *см*, снабжаются на случай возможного бедствия пассажиры трансатлантических кораблей (и самолетов). Хотя к.п.д. антенны и составляет всего $8 \cdot 10^{-4}$% (на частоте 2,05 *Мгц*), при мощности источников питания, равной 0,4 *вт*, такой передатчик позволяет обнаружить его местоположение (запеленговать) с расстояний порядка 8 *км* при условии, что он поднят над морской поверхностью на 0,5 *м* и на расстоянии до 4 *км* при расположении его непосредственно на водной поверхности. Этот эффект объясняется особенностями распространения радиоволн, излучаемых ферритовой антенной, расположенной на границе двух сред.

При оценке энергетических свойств ферритовой антенны может оказаться полезным знание баланса энергий в антенной катушке и сердечнике. Проще говоря, подобный анализ должен дать ответ на следующий вопрос: каков уровень действующего магнитного потока в сердечнике в настроенной и ненастроенной антеннах?

Возьмем в качестве количественного примера уже рассматривавшуюся нами ферритовую антенну с числом витков w=75, действующей высотой h=2 *см* при частоте f=1 *Мгц*. Предположим, что внешнее магнитное поле имеет напряженность порядка 0,8 *мка/м*, что соответствует электрической напряженности поля 300 *мкв/м*. Тогда индукция в сердечнике будет $1 \cdot 10^{-10}$ *тл*, э.д.с. в ненагруженной антенной катушке составит 6 *мкв*, а напряжение на ней при резонансе будет 1,2 *мв*. Так как сопротивление антенной катушки этой антенны составляет 25 *ом*, то ток в антенном контуре будет 48 *мка*, а напряженность магнитного поля составит около 0,16 *а/м*. При этом индукция (считая, что величина $\mu_к$=10) будет около $2 \cdot 10^{-5}$ *тл*.

Характерно, что индукция «внутреннего» поля антенной катушки (поля, создаваемого током в настроенной антенне) примерно в 200 раз превышает индукцию от внешнего поля.

Интересны частотные свойства ферритовых антенн. Рост потерь в ферритах с большим значением μ при увеличении частоты приводит к необходимости для сохранения достаточно высоких значений Q использовать ферриты с меньшей проницаемостью. Уменьшение проницаемости, несомненно, уменьшает действующую высоту ферритовых антенн. Однако при неизменных и малых по сравнению с λ геометрических размерах приемные свойства антенны с увеличением частоты улучшаются. В конечном итоге, как показывает практика, ферритовые антенны могут быть применены без заметного снижения их эффективности повсюду, начиная с длинноволнового и кончая ультракоротковолновым (метровым) диапазоном (рис. 25).

5. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ПРИЕМНЫХ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

Выбор схемы входа должен производиться с учетом высказанных выше соображений: необходимости получения наибольшей действующей высоты и сохранения максимальной добротности. При выборе схемы нужно учитывать также способ согласования антенны с последующими каскадами радиоприемника и, кроме того, в каждом отдельном случае роль и назначение антенны и радиоприемного устройства в целом. В портативных переносных приемниках, например, основными являются конструктивные соображения, в то время как

в больших настольных приемниках необходимо предусмотреть максимальную эффективность антенны.

Как известно, антенна отдает наибольшую мощность в том случае, когда ее внутреннее сопротивление равно сопротивлению нагрузки. С этой точки зрения следовало бы добиваться равенства сопротивлений $R_э$ входного контура и входного сопротивления $R_{вх}$ лампы. Однако если рассматривать лампу как усилитель напряжения, то целесообразно увеличить напряжение на входном контуре, хотя бы мощность, отдаваемая при этом контуром, а следовательно, и антенной, была меньше возможной. Условием получения наибольшего напряжения на контуре следует считать следующее неравенство:

$$R_{вх} \geqslant R_э.$$

При малом входном сопротивлении лампы добротность входного контура, а следовательно, и коэффициент усиления входной цепи значительно падают, что приводит к уменьшению эффективности антенны. Обычно это случается в коротковолновом и главным образом в ультракоротковолновом диапазонах, где сопротивление входа лампы, приводимое в справочниках для какой-нибудь определенной частоты, например 60 *Мгц*, начинает уменьшаться обратно пропорционально квадрату частоты. Так, например, если для лампы 2Ж27Л $R_{вх}$ на частоте 60 *Мгц* составляет 15 *ком*, то на частоте 30 *Мгц* оно будет уже 60 *ком*, а на частоте 90 *Мгц* — всего 6,66 *ком*.

Согласование входа лампы с контуром достигается неполным включением последнего. На рис. 26 показаны различные способы такого включения. Автотрансформаторное включение (рис. 26,*а*) удобно применять, если точно известны входное сопротивление лампы и эквивалентное сопротивление $R_э$ контура. В этом случае число витков катушки связи $w_{св}$, с которой напряжение подается на управляющую сетку лампы, может быть определено по формуле

$$w_{св} = \sqrt{\frac{R_{вх}}{3R_э}}\, w^2,$$

где $R_э$ — эквивалентное сопротивление входного контура, равное $Q\,\rho$ или $Q\,\omega L$;

w — полное число виктов катушки.

Индуктивная связь (рис. 26,б) более гибкая. Она позволяет, изменяя взаимоиндуктивность между катушкой связи и антенной катушкой путем перемещения катушки связи при неподвижной антенной катушке, добиться опытным путем наилучшего эффекта. Такая связь оказывается также весьма удобной в том случае, когда первая лампа является преобразователем. Катушка связи размещается на сердечнике ферритовой антенны. Емкостная связь (рис. 26,*в*) обычно используется в таких устройствах, где осуществляется беспоисковый прием, т. е. прием без перестройки антенного контура. Полное включение ферритовой антенны (рис. 26,*г*) наиболее широко применяется на средневолновом и длинноволновом диапазонах.

Вопрос выбора соответствующей связи между антенной и входом приемного устройства приобретает особое значение в приемниках на полупроводниковых приборах, характеризующихся весьма малыми по сравнению с электронными лампами входными сопротивлениями (порядка нескольких сотен ом) и большими значениями входной емкости. Это приводит к необходимости применения малой связи

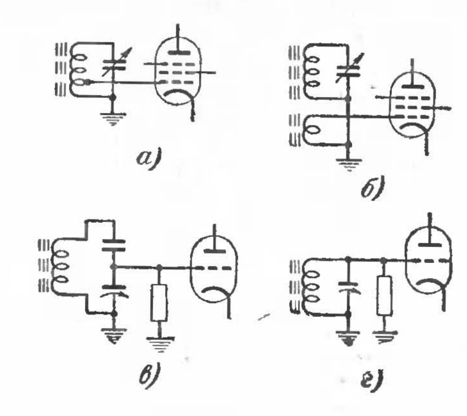


Рис. 26. Способы подключения ферритовых антенн в ламповом каскаде.

а — автотрансформаторная связь; *б* — индуктивная связь; *в* — емкостная связь; *г* — полное включение.

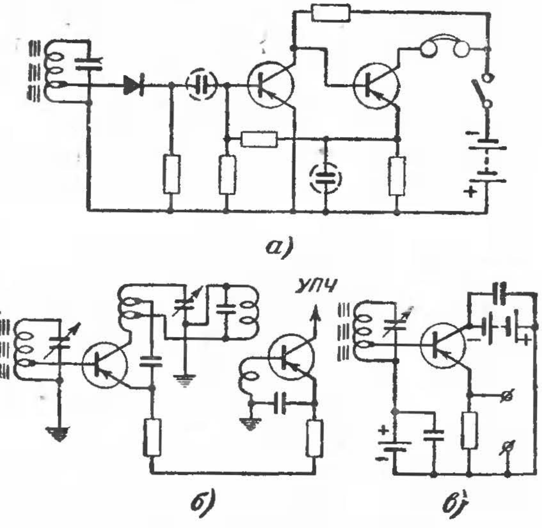


Рис. 27. Способы включения ферритовых антенн в приемниках на полупроводниках.

а — в детекторном приемнике; *б* — в супергетеродинном приемнике; *в* — с эмиттерным повторителем.

антенны с входным каскадом. На рис. 27,*а* показана схема детекторного приемника с такой связью. В схеме супергетеродинного приемника с неполным включением антенны (рис. 27, *б*) в цепь база — эмиттер транзистора рекомендуется включать лишь 9 из 60 витков катушки. При этом сопротивление включенной части входного контура уменьшится по сравнению с полным включением антенной катушки в $(60/9)^2 \approx 45$ раз, а напряжение, снимаемое с входного контура, уменьшится лишь в 6,66 раза.

Однако добротность входного контура заметно ухудшается даже при слабой его связи с транзистором. Поэтому иногда для повышения чувствительности приемника целесообразно применить в качестве первого каскада эмиттерный повторитель — схему с общим коллектором (рис. 27, *в*), что позволит сохранить высокую избирательность входного контура и полностью реализовать высокое качество ферритовой антенны, так как входное сопротивление такого каскада равно $\beta R_н$ (величина β достигает у современных транзисторов 50 и даже 100), где $R_н$ — сопротивление нагрузки каскада.

Иногда возникает необходимость вынести ферритовую антенну за пределы приемника, соединив ее с приемником с помощью кабеля. В этих случаях применение эмиттерного повторителя (двухкаскадного) или лампового катодного повторителя становится неизбежным. Схемы подобных устройств приводятся на рис. 28.

В транзисторах емкость *п-р* перехода в большинстве случаев рассматривается как паразитная, ограничивающая частотный диапазон полупроводникового прибора. Между тем в ряде случаев наличие этой емкости или точнее изменение ее под действием приложенного к прибору напряжения может оказаться полезным. На рис. 29 показана зависимость емкости *п-р* перехода от приложенного к диоду постоянного напряжения. Это свойство позволяет использовать полупроводниковый прибор как элемент настройки контура в компактных приемниках (рис. 30). В качестве элемента настройки можно использовать германиевые диоды типа ДГ-Ц24, ДГ-Ц27 и др. Еще лучше использовать для этого кремниевые стабилитроны. Следует отметить, однако, что влияние активного сопротивления перехода, шунтирующего входной контур, а также малое перекрытие диапазона затрудняют применение такого рода настройки.

Рис. 28. Включение выносных ферритовых антенн.

а — ламповая схема; *б* — двухкаскадный эмиттерный повторитель.

Выбор схемы включения ферритовой антенны и ее конструкция определяют чувствительность приемника. Обычно чувствительность оценивается величиной э. д. с. на входе приемника, при которой достигается определенное соотношение между сигналом и шумами на его выходе. Применение ферритовой антенны из-за ее особенностей затрудняет прямое измерение чувствительности с помощью генератора стандартных сигналов, поэтому более целесообразно оценивать ее с помощью определения величины минимальной напряженности, обеспечивающей нормальный выходной эффект. Коэффициент шума схем входа с ферритовыми антеннами имеет значения от нескольких десятков до тысяч. Чем меньше коэффициент шума, тем выше чувствительность приемника с ферритовой антенной.

Рис. 29. Изменение емкости *п-р* перехода полупроводниковых приборов в зависимости от приложенного напряжения.

1 — емкость *п-р* перехода транзистора П6Б; *2* — то же для диода ДГ-Ц27; *3* — активное сопротивление для диода ДГ-Ц27.

В заключение приводим несколько наиболее распространенных схем включения ферритовых антенн в портативных транзисторных приемниках.

В схеме, приведенной на рис. 31, показано типовое включение двух антенных катушек, переключение которых позволяет изменять диапазон работы приемника (ДВ — длинные волны, СВ — средние

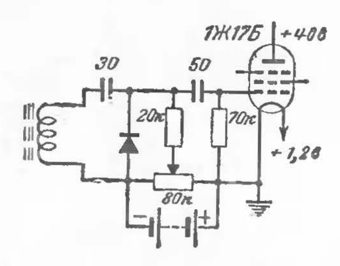


Рис. 30. Использование емкости *п-р* перехода для настройки ферритовой антенны.

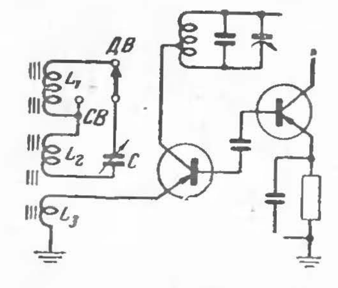


Рис. 31. Схема входа двухдиапазонного транзисторного приемника.

волны). Сердечник антенны диаметром 8 и длиной 160 *мм* выполнен для феррита Ф-600. Катушка L_1 состоит из 70 витков (индуктивность 0,2 *мгн*), L_2 — из 160 витков (индуктивность 1,6 *мгн*) и L_3 — из 16 витков (индуктивность 10 *мкгн*).

Несколько более сложной представляется схема входа трехдиапазонного приемника (рис. 32), в котором наряду с ферритовой антенной предусмотрено использование небольшой (до 1 *м*) штыревой антенны *А* для коротковолнового диапазона *КВ*. Ферритовая антенна здесь выполнена на сердечнике с магнитной проницаемостью $\mu_0=150$ диаметром 10 и длиной 200 *мм*.

На рис. 33 приводится схема входа регенеративного средневолнового приемника, ферритовая антенна которого состоит из сердечника ($\mu_0=600$) диаметром 10 и длиной 200 *мм* и катушки из 4+16+ +32 витков.

6. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ПРИЕМНОЙ ФЕРРИТОВОЙ АНТЕННЫ

Исходными данными для расчета антенны служат параметры сердечника (его начальная проницаемость, размеры), электрические данные входной цепи, а также (при расчете супергетеродина) параметры контура гетеродина. В понятие расчета входят определение числа витков и выбор конструкции антенной катушки на сердечнике, определение схемы включения и расчет величины связи антенного контура с входом приемника и, наконец, определение действующей высоты и эффективности антенны.

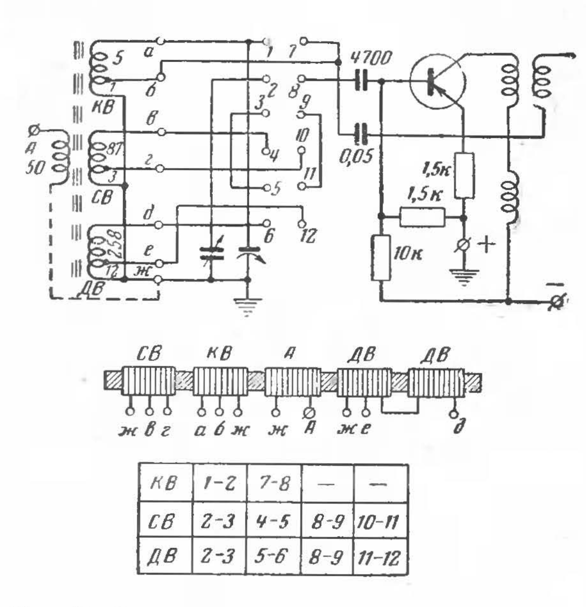
Иногда к антенне предъявляются дополнительные требования, такие как повышенная избирательность входной цепи, получение «чистой» диаграммы направленности (с четким нулем приема), простота изготовления и настройки, максимальная эффективность антенны и др., которые заставляют вносить в типовой расчет изменения.

Число витков антенной катушки определяется в первую очередь величиной допустимой индуктивности входного контура. Зная частотный диапазон и конструктивные особенности самого приемника (схему сопряжения входного контура с другими контурами, емкость конденсатора настройки и других элементов входа), индуктивность катушки находят по формуле

$$L_к=\frac{2{,}53\cdot10^4}{f^2_{макс}\,C_{мин}},$$

где $C_{мин}$ — суммарная емкость конденсатора настройки (минимальная), монтажа и др. По этой формуле индуктивность определяется в микрогенри, емкость подставляется в формулу в пикофарадах, а частота в мегагерцах.

Для быстрых прикидочных расчетов, когда выбираются все элементы входной цепи (включая и конденсатор настройки), целесообразно пользоваться номограммой, приведенной на рис. 34. Номограмма позволяет быстро определить искомую индуктивность *L*, задавшись предположительной емкостью. По этой же номограмме можно определить и индуктивное сопротивление катушки при определенной частоте (левая сторона номограммы), а также резонансную частоту контура при известных индуктивности и емкости. Принцип пользования номограммой очень прост: при двух известных значениях величин (например, частоты и емкости) третья находится по точке пересечения двух прямых, соответствующих заданным значениям; затем прослеживается проходящая через нее прямая и на соответству-



КВ	1-2	7-8	—	—
СВ	2-3	4-5	8-9	10-11
ДВ	2-3	5-6	8-9	11-12

Рис. 32. Схема входа трехдиапазонного транзисторного приемника.

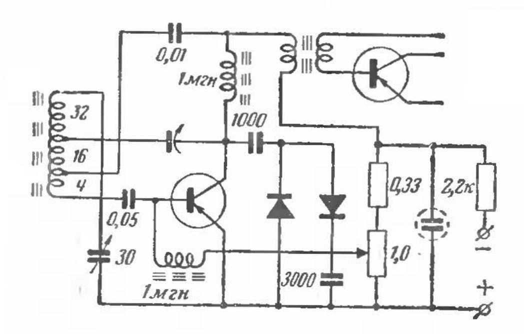


Рис. 33. Схема входа средневолнового регенеративного приемника.

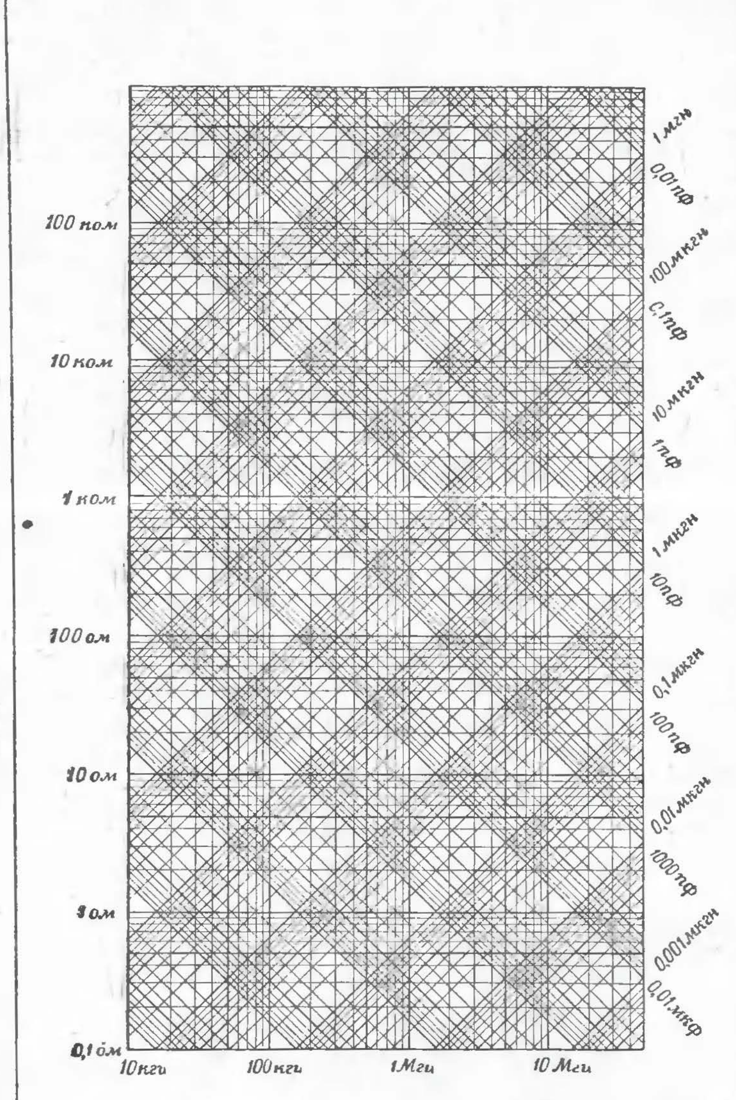


Рис. 34. Номограмма для определения индуктивности катушки, реактивного сопротивления и резонансной частоты контура.

ющей грани прочитывается искомое значение (например, индуктивности).

Прежде чем рассчитывать число витков антенной катушки, следует выбрать определенную ее конструкцию (зависимости от диапазона частот и назначения антенны). Наиболее проста односекционная антенная катушка со сплошной намоткой. В этом случае число витков

$$w = \sqrt{\frac{L_к}{L' D_к \mu_к}} .$$

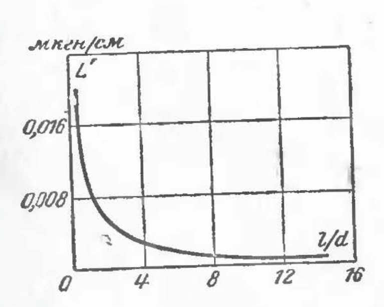


Рис. 35. Изменение коэффициента формы катушки при различных отношениях ее длины к диаметру.

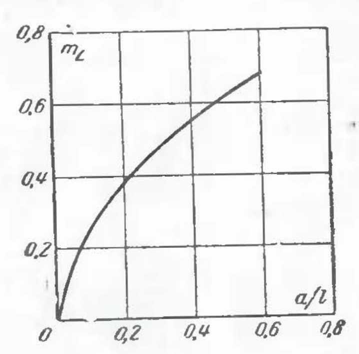


Рис. 36. Зависимость коэффициента m_L от соотношения между длиной катушки и длиной сердечника.

Коэффициент L' (коэффициент формы катушки, аналогичный ранее упоминавшемуся коэффициенту Φ) зависит от отношения длины катушки к ее диаметру (рис. 35). Наиболее сложным является определение коэффициента $\mu_к$. Он вычисляется как произведение четырех эмпирических коэффициентов:

$$\mu_к = \mu_д m_L \, p_L \, q_L .$$

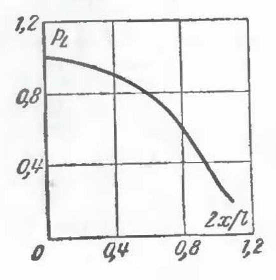


Рис. 37. Зависимость коэффициента p_L от расположения катушки на сердечнике.

Коэффициент m_L определяется отношением длины катушки к длине сердечника (рис. 36), коэффициент p_L зависит от расположения катушки на сердечнике (рис. 37), коэффициент q_L представляет собой отношение квадратов диаметра сердечника к диаметру катушки и, наконец, $\mu_д$ — действующая проницаемость сердечника.

Как видно из хода расчета, для определения коэффициентов m_L, p_L и L' необходимо задаться прежде всего длиной катушки, которая определяется произведением диаметра провода на неизвестное

нам числу витков. С этим кажущимся противоречием можно легко освоиться при наличии некоторого опыта в проведении таких расчетов. Для облегчения расчета в табл. 3 приведены типовые данные ферритовых антенн для диапазонов средних и длинных волн в приемниках с ламповым входом.

Таблица 3

Диаметр сердечника d *мм*	Число витков		Индуктивность, *мгн*	
	СВ	ДВ	СВ	ДВ
8	60—80	150—175	0,2—0,3	1,2–1,6
10	40—50	100—120	0,2–0,3	1,2—1,6
15	25—30	70—80	0,2—0,3	1,2—1,6

Наряду с рассмотренным методом расчета антенной катушки часто пользуются более простым сравнительным методом расчета по известным параметрам образцовых катушек. В табл. 4 приводятся основные параметры антенных катушек и ферритовых сердечников, выпускаемых нашей промышленностью.

Данные добротности в табл. 4 приведены только для «образцовых» катушек указанной индуктивности при однорядной намотке, выполненной многожильным проводом ЛЭШО 21×0,07, и расположении катушки в средней части сердечника. При постоянной индуктивности «образцовой» катушки и диаметре сердечника 8 *мм*, изготовленного из феррита с проницаемостью μ=600, число витков «образцовой» катушки (диаметр катушки 9,5 *мм*) зависит от длины сердечника и составляет 86, 81, 69 и 67 витков при длине сердечника 65, 80, 140 и 160 *мм* соответственно. Эти данные позволяют примерно определить требуемое число витков антенной катушки при любой другой индуктивности.

Наиболее просто примерный подсчет числа витков может быть произведен для сердечников тех же конфигураций, что и в «образцовых» катушках. Тогда требуемое число витков антенной катушки определяется как значение корня квадратного из отношения индуктивностей рассчитываемой и «образцовой» катушек, умноженное на 1,1. При другом диаметре сердечника отношение под корнем умножается на отношение диаметров.

Если намотка катушки не сплошная (что позволяет несколько повысить действующую высоту антенны), то расчет числа витков усложняется из-за необходимости учитывать неполную связь между витками. Примером такого расчета может служить выбор оптимального расстояния между двумя секциями катушки длинноволновой антенны со следующими данными сердечника: μ_0=900, l=480 *мм* и d=20 *мм*. Экспериментально было установлено, что коэффициент связи K между двумя секциями зависит от расстояния x между ни-

Таблица 4

Рабочий диапазон частот, *Мгц*	Добротность не менее	Частота (измеренная), *Мгц*	Индуктивность эталонной катушки с сердечником, *мкгн*	Магнитная проницаемость μ_0	Размеры сердечников, *мм*			
					Стержни		Пластины	
					Диаметр	Длина	Сечение	Длина
0,05—0,35	120	0,35	4 100±20%	2 000	8 — 8 —	60 — 100 —	— 16×4 16×4 20×3	— 80 100 100
0,15—1,6	120	1,5	350±20%	600	8 8 8 8 —	60 65 80 100 —	— — 16×4 16×4 20×3	— — 80 100 100
—	150	—	—	400	— 8 — 8 8 10	— 125 — 140 160 200	20×3 16×4 20×3 — 25×5 25×5	115 125 125 — 160 200
4–12	100	12	5,2±20%	200	8 8 10	125 160 200	— 25×5 —	— 160 —
6—18	140	18	2,2±20%	100	8 8 10	125 160 200	— 25×5 —	— 160 —
18—30	100	30	0,9±20%	50	8 10	160 200	— —	— —
40—100	100	70	0,9±20%	20	8 10	160 200	— —	— —

ми, как это показано на рис. 38, и изменяется по экспоненциальному закону $K=e^{0,158x}$.

Пусть L_0 — индуктивность отдельного витка, h_0 — действующая высота отдельного витка, K — коэффициент связи между двумя симметрично расположенными обмотками и w — число витков в секции. Тогда действующая высота антенны

$$h = h_{01} + h_{02} + \cdots = 2\sum_{1}^{w} h_0 ,$$

а индуктивность антенной катушки

$$L = 2w^2(1 + K_{ср}) .$$

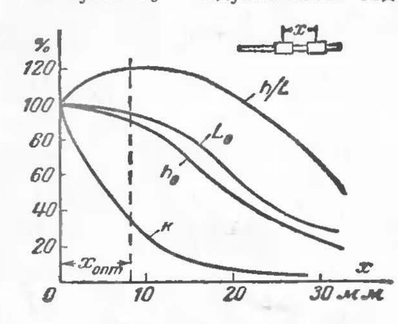


Рис. 38. К расчету наивыгоднейшего расположения секций (зависимость параметров антенны от расстояния между секциями).

Отношение h/L покажет, насколько удачно выбрана величина связи между двумя секциями. Как видно из рис. 38, оптимальным для рассматриваемого случая является расстояние $x=8$ *см*; при этом расстоянии выигрыш по действующей высоте достигает 20%. При распределенной намотке и, в частности, при прогрессивной намотке (с увеличивающимся шагом) увеличение отношения h/L по сравнению с секционированной катушкой достигает 5—8%.

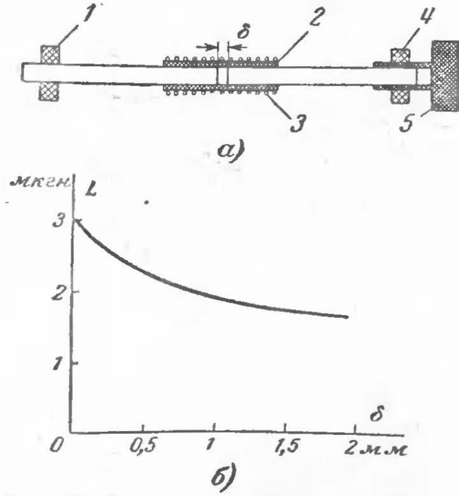


Рис. 39. Антенна с регулируемым воздушным зазором.

а — устройство антенны (*1* — держатель, *2* — каркас, *3* — обмотка, *4* — держатель с винтовым отверстием, *5* — фланец с ходовой нарезкой); *б* — график изменения индуктивности при изменении зазора.

При конструктивном расчете ферритовой антенны следует учесть возможность регулировки индуктивности антенной катушки после ее установки в приемнике. Чаще всего это производится перемещением антенной катушки вдоль стержня, что позволяет изменять индуктивность на 20%. Другой способ регулировки осуществляется путем изменения зазора между двумя половинками сердечника (рис. 39, *а*). На рис. 39, *б* показана зависимость индуктивности антенной катушки от величины зазора δ между половинками сердечника, изготовленного из феррита 20ВЧ. Применяя ферриты с большей магнитной проницаемостью, можно добиться большего частотного перекрытия. Существует еще один способ регулировки индуктивности антенны, заключающийся в изменении расстояния между секциями антенной катушки (рис. 40). Такая регулировка благодаря весьма большому диапазону изменения индуктивности может быть использована как основной способ настройки ферритовой антенны, позволяя обойтись без конденсатора переменной емкости.

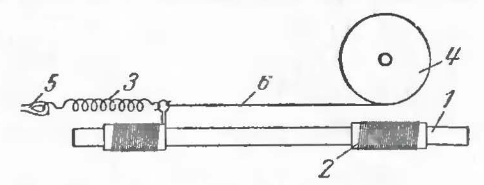


Рис. 40. Регулировка индуктивности путем изменения расстояния между секциями.

1 — сердечник; *2* — секция катушки; *3* — пружина; *4* — шкив; *5* — точка крепления; *6* — нить.

Чтобы уменьшить длину соединительных проводов, ферритовую антенну надо устанавливать как можно ближе к входному каскаду. Вблизи от антенны не должно быть короткозамкнутых витков. Закреплять антенну надо в держателях с мягкими прокладками. Во избежание увеличения собственной емкости антенна должна быть удалена от шасси на расстояние не менее 3 *см*, а также максимально удалена от трансформаторов и электродинамического громкоговорителя.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

7. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

В процессе конструирования ферритовой антенны часто возникает необходимость проверки (измерения) ее параметров (индуктивности антенной катушки, добротности, действующей высоты).

Вызывается это не только несовершенством методов расчета, но и непостоянством характеристик феррита (естественным его старением или воздействием факторов, изменяющих свойства феррита, о которых говорилось выше). Достаточно сказать, что разброс по магнитной проницаемости ферритовых сердечников одной и той же марки может достигать 20%. Особенно необходимы измерения при экспериментальной работе по увеличению эффективности антенны, когда результаты эксперимента показывают, насколько полезно то или иное изменение ее конструкции.

Наиболее употребительными измерительными приборами при конструировании ферритовой антенны являются коротковолновые (типа КВ-1) и ультракоротковолновые (типа УК-1) Q-метры. Оба эти прибора позволяют измерять индуктивность и добротность антенной катушки, а также проводить некоторые дополнительные измерения, в частности определять собственную емкость антенного контура (собственная емкость ферритовой антенны определяется таким же способом, как и собственная емкость обычных катушек).

Для определения собственной частоты антенного контура (что необходимо, в частности, при изготовлении ферритовой телевизионной антенны) к зажимам «Индуктивность» ультракоротковолнового Q-метра типа УК-1 подключается небольшой (диаметром 4—5 *см*) виток и с помощью конденсатора Q-метр настраивается на частоту, близкую к измеряемой. Затем к витку подносится измеряемая ферритовая антенна (точнее антенный контур) на расстояние 3—4 *см*. Если при этом частота настройки на Q-метре изменяется, то собственная частота антенного контура не совпадает с частотой Q-метра. При совпадении же частот настройка контура Q-метра остается неизменной (при этом несколько снижается добротность контура).

С помощью Q-метра можно также выяснить ориентировочно марку неизвестного ферритового стержня. Для этого нужно определить его частотную границу, т. е. ту частоту настройки, за которой следует ухудшение добротности до величины, равной примерно 10. По этой частоте, пользуясь табл. 1, можно узнать затем марку неизвестного феррита. При подобных измерениях следует помнить, что добротность антенной катушки зависит от числа ее витков и, следовательно, катушка должна иметь число витков, соответствующее данному частотному диапазону (см. табл. 3). Более точно магнитная проницаемость исследуемого стержня может быть определена, если воспользоваться методикой, изложенной в предыдущей главе, т. е., определив индуктивность и зная число витков и размеры катушки, найти последовательно сначала $\mu_к$, а затем μ_0.

С помощью Q-метра можно определить и величину связи между параллельными или последовательными антеннами, пользуясь методикой, применяемой при определении взаимоиндуктивности между обычными катушками.

Иногда при изготовлении ферритовых антенн, особенно в ультракоротковолновом диапазоне, следует проверить, насколько далеко рабочая частота сконструированной антенны находится от частоты собственного резонанса. Приближение частоты к резонансной можно легко обнаружить с помощью Q-метра, определив индуктивность антенны на нескольких частотах. Если индуктивность исследуемой антенны начинает быстро увеличиваться при увеличении частоты, то значит, частота антенны приближается к резонансной и число витков надо уменьшить.

Измерение индуктивности антенной катушки можно вести и на обычных мостовых приборах. Однако при этом надо иметь в виду, что большинство измерителей индуктивности работает на относительно низких частотах и по их показаниям трудно судить о потерях в измеряемой антенне.

8. ИЗМЕРЕНИЯ В СТАНДАРТНОМ ПОЛЕ

Рассмотренные выше измерения не дают прямого ответа на вопрос, насколько эффективна сконструированная антенна. Такой ответ может быть получен при условии, что известны напряженность поля в месте приема и напряжение на выходе антенны или на выходе приемника, усиление которого известно. Знание этих величин позволяет более или менее точно определить действующую высоту антенны расчетным путем.

Измерения напряженности поля требуют довольно сложной аппаратуры и, кроме того, не всегда возможны из-за помех. Между тем возможно создать искусственным образом условия для быстрого и прямого измерения действующей высоты ферритовой антенны. Такую возможность дает макет стандартного поля (поля Гельмгольца), в котором с помощью простых измерительных приборов (например, теплового миллиамперметра) можно измерить уровень поля. Получаемое в макете поле однородно, и, кроме того, напряженность его может быть достаточно большой, позволяющей измерять действующую высоту антенны с помощью обычного микроамперметра.

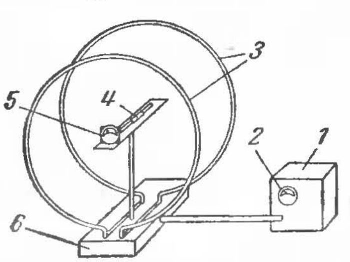


Рис. 41. Общий вид макета стандартного поля.

1 — генератор; *2* — миллиамперметр; *3* — витки; *4* — ферритовая антенна; *5* — индикатор; *6* — подставка (основание).

Общий вид макета стандартного поля приводится на рис. 41. Источником поля служит рамочная антенна в виде двух параллельно расположенных витков, подсоединенных к высокочастотному генератору с симметричным выходом.

Напряженность электрического поля связана с током в витках следующей зависимостью:

$$E = 86\pi \frac{1}{R} I,$$

где I — суммарный ток, питающий оба витка, *а*;
R — радиус витка, *м*.

При радиусе витков $R=27{,}5$ *см* и токе $I=1{,}02$ *ма* напряженность поля $E=1$ *в/м*. Для получения наибольшей однородности поля расстояние между витками следует брать равным 25—30 *см*. Витки могут быть выполнены из латунной трубки.

Более удобна с конструктивной точки зрения схема прибора,

в которой источником поля служит апериодическая экранированная рамка. Экранирование рамки позволяет питать ее от несимметричного генератора, не опасаясь влияния оператора и близлежащих предметов на результаты измерений. Она дает возможность контролировать нагрузку на генератор и удобна при производстве измерений, поскольку в этом случае возрастает ток, питающий рамку.

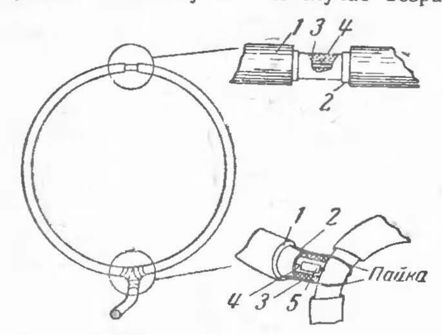


Рис. 42. Экранированная рамка из радиочастотного кабеля для макета стандартного поля.

1 — защитное покрытие; *2* — броневая оплетка; *3* — изолятор; *4* — жила кабеля; *5* — сопротивление.

Экранированную апериодическую рамку можно изготовить из радиочастотного кабеля (рис. 42). Для этого берут кусок кабеля типа РК-1, несколько превышающий периметр *l* рамки ($l=2\pi R$), и один из его концов на 3—4 *см* от края очищают от защитного покрытия. Затем броневую оплетку кабеля, состоящую из медных жил, расплетают на два пучка, а внутренний провод очищают от изоляции и облуживают. На расстоянии, равном периметру рамки, броневую оплетку вновь очищают от покрытия и залуживают. После этого к внутреннему проводу очищенного конца кабеля надо припаять малогабаритное сопротивление в 75 *ом*. Другой конец сопротивления припаивают к облуженному участку кабеля. Сюда же, охватывая припаянное сопротивление и броневую оплетку, припаивают оба пучка расплетенной броневой оплетки конца кабеля. Место соединения обматывается изоляционной лентой. Далее, на середине спаянного в рамку

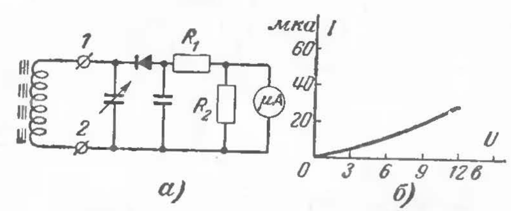


Рис. 43. Схема (*а*) и характеристика (*б*) индикатора для макета стандартного поля.

кабеля удаляют покрытие и броневую оплетку на расстоянии 1 *см* (изоляция остается для сохранения механической прочности).

Обе изготовленные таким образом рамки соединяются параллельно и располагаются на расстоянии, равном радиусу рамок. Для большей устойчивости целесообразно рамки разместить на жестких основаниях из изоляционного материала (гетинаксовых или фанерных). Радиус их следует выбирать, исходя из рабочего диапазона антенны (27,5 *см* для диапазона длинных и средних волн и не более 20 *см* для ультракоротковолнового диапазона).

Мощность генератора, необходимая для создания поля напряженностью порядка 1 *в/м*, не превышает 0,2 *вт*. Эффективность ферритовой антенны может быть измерена простейшим индикатором, состоящим из детектора и микроамперметра постоянного тока (рис. 43). Ферритовая антенна, помещенная в стандартное поле, настраивается подстроечным конденсатором. Величина нагрузки детектора подбирается равной или несколько превосходящей входное сопротивление приемника. Схема детектора настолько проста, что может быть собрана непосредственно на зажимах микроамперметра. Для удобства измерения действующей высоты микроамперметр монтируется на одном из оснований, к которому прикрепляются витки (рамки).

Прежде чем приступить к непосредственным измерениям, следует убедиться (измерив ток, питающий рамку, и рассчитав напряженность поля), что величина поля достаточна для проведения измерений. Если производится измерение действующей высоты (без настройки антенны), то напряженность поля должна быть не ниже 20 *в/м*. При таких измерениях нагрузкой детектора служит сопротивление микроамперметра типа М-494 или М-24.

Чтобы облегчить работу, нужно предварительно вычертить детекторную характеристику индикатора. Для этого на выход антенны (зажимы *1* и *2* на рис. 43) подключают достаточно чувствительный ламповый вольтметр (типа ВЛУ или ВКС-7) и определяют затем зависимость тока микроамперметра от напряжения, развиваемого антенной. После этого приступают к непосредственным измерениям действующей высоты. Антенна располагается в середине между рамками на подставке из изолирующего материала (органическое стекло, гетинакс) так, чтобы ось стержня совпадала с осью, проходящей через центры рамок.

Для настройки ферритовой антенны на различные частоты используется воздушный конденсатор (ротор его должен легко вращаться), емкость которого должна изменяться в тех же пределах, что и емкость конденсатора, используемого в приемнике. В этом случае сопротивление нагрузки выбирается порядка 100—150 *ком*, а микроамперметр подсоединяется к части нагрузки, сопротивление которой в 3—4 раза меньше сопротивления микроамперметра.

На рис. 43, *б* показана типовая характеристика индикатора для измерений в ультракоротковолновом диапазоне. В индикаторе используются диод типа Д2Г, сопротивление нагрузки R_1 в 130 *ком*, блокировочный конденсатор емкостью 68 *пф* и сопротивление R_2 в 200 *ом*. Детекторная характеристика должна сниматься при настроенном антенном контуре.

Этот же индикатор может быть использован для проверки диаграммы направленности антенны. Для этого генератор соединяют с обследуемой антенной, а к входу индикатора подключают два коротких полувибратора (длиною по 5 *см* каждый) из толстого медного провода. Обнося индикатор, расположенный на подставке, вокруг антенны, можно получить представление о диаграмме и поляризации радиоволн, излучаемых антенной.

Приводим несколько советов, полезных при проведении измерений на стенде. Грубую настройку антенны следует производить кон-

ленсатором, а точную — изменением частоты генератора, добиваясь максимального отклонения стрелки микроамперметра.

В пространстве между рамками не должно быть металлических деталей, способных исказить поле. Оператор при измерениях должен находиться на расстоянии не меньше полуметра от стенда. В поле его зрения должны быть и миллиамперметр, измеряющий ток рамки, и микроамперметр индикатора. Уровень поля следует поддерживать по возможности постоянным.

Помимо прямых измерений действующей высоты и эффективности ферритовых антенн, на стенде можно производить и измерение добротности антенного контура в сборе (иногда вместе с лампой или транзистором). Для этого определяется после точной настройки полоса пропускания контура; она находится как разность между частотами генератора, при которых напряжение на контуре падает до уровня, равного 0,7 от максимального. После этого добротность контура определяется по следующей формуле:

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f},$$

где f_0 — частота точной настройки антенны, *кгц*;
$2\Delta f$ — полоса пропускания контура, *кгц*.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ УКВ ДИАПАЗОНА И ЭЛЕМЕНТЫ АНТЕННЫХ ЦЕПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРРИТОВ

9. КОМНАТНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ

Говоря о внедрении комнатных телевизионных антенн, полезно провести аналогию из истории приемных антенн для радиовещательных приемников. На ранней стадии развития приемников при малой чувствительности их и при небольших мощностях передающих радиостанций приемные антенны выносились на крыши зданий, поднимались на шесты, деревья и т. п. Позднее перешли к комнатным антеннам в виде куска провода, протягиваемого по стенам комнат, и, наконец, теперь приемники выпускаются со встроенными в них ферритовыми антеннами.

Проводя аналогию, можно сказать, что телевизионные комнатные антенны находятся на второй стадии своего развития. Применяемые в настоящее время комнатные телевизионные антенны представляют собой простейший вибратор из проволоки или штырей. Такие антенны из-за специфических особенностей распространения ультракоротких волн даже в условиях достаточной напряженности поля внутри помещения не всегда обеспечивают высококачественный прием, так как поле в этом случае в результате сложения прямой и отраженных волн неравномерно по амплитуде и фазе, что не позволяет полностью использовать действующую высоту антенны. Кроме того, поскольку при комнатной антенне симметрирование ее применяется редко, антенна практически несимметрична и вследствие этого подвержена воздействию помех, а также волн вертикальной поляризации. Практически такая антенна не обладает направленностью.

Использование ферритовой антенны помогло бы устранить большинство недостатков обычных комнатных антенн. Действительно, будучи неизмеримо более компактной, ферритовая антенна не портит вида комнаты, она может быть вмонтирована непосредственно в телевизор, ориентировать ее при приеме горизонтально поляризованных волн не надо, она является в высшей степени симметричной и пр.

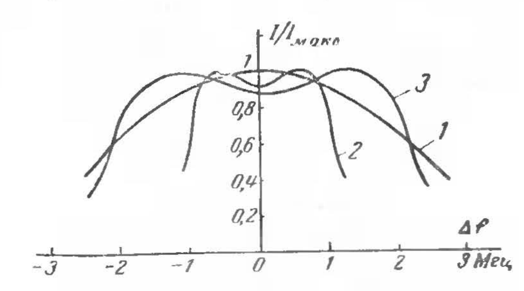


Рис. 44. Частотные характеристики при $f=50$ *Мгц*.

1 — одиночного контура при $Q=10$; *2* — связанных контуров при $Q=50$; *3* — связанных контуров при $Q=25$.

Основным, однако, при решении вопроса о целесообразности внедрения такой антенны является получение достаточной эффективности ее, сравнимой с эффективностью горизонтального вибратора. При определении эффективности ферритовой телевизионной антенны следует учитывать, что для высокочастотного воспроизведения изображения полоса ее пропускания должна составлять 5—6 *Мгц*. Ширина полосы пропускания и добротность входного контура связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью, и, следовательно, чем шире требующаяся полоса частот, тем ниже добротность и в конечном итоге эффективность антенны.

Расширение полосы может быть достигнуто путем шунтирования входного контура активным сопротивлением в 3—4 *ком* (для первого канала) или 5—6 *ком* (для третьего канала). Добротность контура при этом не превышает 10—12. Входное сопротивление высокочастотных усилительных ламп, применяемых в современных телевизорах, имеет величину, сравнимую с величиной шунтирующего сопротивления, и поэтому антенна может подключаться непосредственно к входной лампе. Недостатком в этом случае является пологая частотная характеристика входного контура и малая эффективность антенны в целом (рис. 44).

Лучшие результаты получаются в случае применения связанных антенн. Расчет показывает, что при наличии сильной связи между двумя одиночными контурами можно получить ширину полосы пропускания около 4 *Мгц*, если добротность контуров составляет 25.

Применение связанных контуров дает выигрыш по напряжению больше чем в 2 раза по сравнению с простым шунтированием. Кроме того, поскольку оба контура являются активными, т. е. э. д. с. от внешнего поля наводятся в каждом из них независимо, выигрыш увеличивается в еще большее число раз. Ограничение полосы пропускания антенны шириной в 4 *Мгц* при относительно крутых скатах

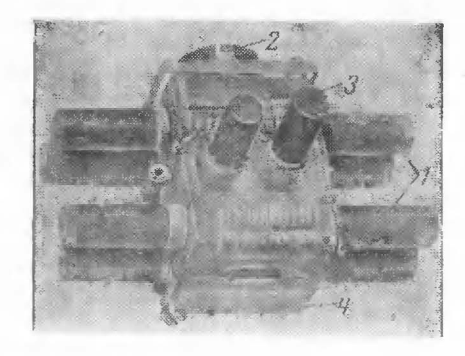


Рис. 45. Внешний вид комнатной ферритовой телевизионной антенны на две программы.

1 — антенна первой программы; *2* — барабан переключателя; *3* — антенна второй программы; *4* — держатель.

резонансной характеристики оказывает положительное влияние на помехоустойчивость телевизионного изображения.

Вторая трудность, возникающая при конструировании ферритовой телевизионной антенны, заключается в необходимости перестройки антенны с одного канала на другой. При небольшом числе каналов (два-три) перестройка антенны может осуществляться подключением отдельных антенн и переключением их. Это оказывается значительно выгоднее, чем переключение витков, применяемое в радиоприемниках.

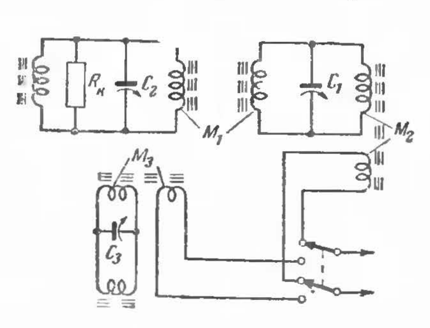


Рис. 46. Электрическая схема комнатной телевизионной ферритовой антенны, показанной на рис. 45.

На рис. 45 показан внешний вид двухпрограммной ферритовой комнатной телевизионой антенны. Электрическая схема ее приведена на рис. 46. Конструктивно она представляет собой устройство из двух отдельных антенн (первого и третьего каналов), выводы которых можно подключать либо к переключателю, либо к двух катодным повторителям.

Антенна для первого канала состоит из двух пар параллельно расположенных и индуктивно связанных между собой катушек с ферритовыми сердечниками. Каждая пара катушек с помощью *Q*-метра настраивается подстроечным конденсатором (C_1 и C_2) на частоту 52,5 *Мгц*. Коэффициент взаимоиндукции M_1 между ними подбирается изменением расстояния между сердечниками, которое обычно не превышает 4 *см*. Антенна для третьего канала выполнена по более простой схеме и образует одиночный контур. Это объясняется в первую очередь более высокой частотой настройки (76 *Мгц*) и, во-вторых, рядом конструктивных соображений.

Для антенны первого канала применяются ферритовые стержни с проницаемостью 20. Размеры их могут быть разными (например, длиной 100 и диаметром 10 *мм* для обеих антенн). Для антенны третьего канала могут служить ферритовые стержни с проницаемостью 15. Их можно изготовить из двух половинок ферритового стержня Ф-20, скрепленных полистироловой прокладкой. Такой сердечник с зазором 1,5 *мм* позволяет получить добротность спаренной антенны порядка 40 при частоте 76 *Мгц*.

Катушки антенны первого канала намотаны на цилиндрическом каркасе из органического стекла длиной 40 *мм* и имеют внутренний диаметр 10 и внешний 13 *мм*. Каждая из них содержит 14—15 витков провода ПЭЛ 0,15 — ПЭЛ 0,3 и намотана прогрессивным шагом, равномерно увеличивающимся от средней части катушки (шаг 1 *мм*) к концам ее (шаг 5 *мм*). Витки укладываются в бороздах глубиной до 0,5 *мм*, выпиленных на каркасе катушки трехгранным напильником. Концы провода закрепляются на краях суровой ниткой. Антенные катушки третьего канала, содержащие по 8—10 витков, изготавливаются точно так же.

Отдельные части держателя антенны стягиваются четырьмя винтами, располагаемыми в углах и проходящими через все четыре пластины держателя. Конденсаторы подстройки антенных контуров могут быть укреплены на внутренних пластинах держателя, при этом во внешних пластинах должны быть просверлены сквозные отверстия, позволяющие подстраивать контуры. Емкость подстроечных конденсаторов (2—7 *пф*) может быть при необходимости уменьшена путем последовательного включения с ними конденсаторов постоянной емкости.

Наиболее сложным при конструировании телевизионной ферритовой антенны является выбор схемы ее включения. В простой антенне, показанной на рис. 46, связь антенн с входными лампами осуществляется с помощью катушек, концы которых выведены на переключатель каналов. Витки этих катушек (5—6 витков для первого канала и 3—4 витка для третьего) наматываются непосредственно на стержень антенны.

Недостаток подобной схемы заключается в необходимости переделки входа телевизионного приемника, так как катушки связи должны подключаться непосредственно к сетке входной лампы. Антенна при этом должна быть размещена в непосредственной близости от входной лампы, т. е. внутри телевизора. Подсоединение к одному из связанных антенных контуров емкости сопротивления соединительных проводов и входа лампы изменяет его параметры. Поэтому во втором контуре, не связанном с лампой, необходимо предусмотреть компенсирующие элементы в виде дополнительных сопротивлений $R_к$ и емкости, величина которых подбирается.

Более удобна в эксплуатации, но более сложна в изготовлении антенна с повторителями или антенными усилителями. Ее достоинство — возможность подсоединения с помощью коаксиального кабеля к стандартному несимметричному входу телевизора, а ее недостаток (в ламповом варианте) — необходимость подачи питания на катодные повторители. Схемы таких антенн, собранных на экономичных лампах типа 1Ж17Б, представлены на рис. 47. Для простоты антенна каждого канала показана здесь условно без специфических особенностей. Переход с одного канала на другой осуществляется переключением напряжения накала ламп. Как видно из рис. 47, *б*, антенна включена здесь по симметричной схеме, что повышает эффективность антенны и улучшает диаграмму ее направленности. Трансформатор, применяемый в схеме на рис. 47, *а*, описывается ниже. Источники питания (1, 2 и 40 *в*) катодных повторителей могут быть размещены как в телевизоре, так и прямо под антенной.

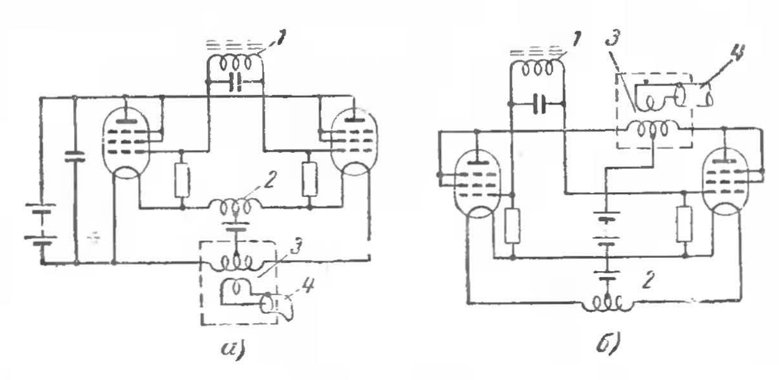


Рис. 47. Схемы включения ферритовых антенн.

а — с катодными повторителями; *б* — с антенным усилителем; *1* — антенна; *2* — дроссель; *3* — трансформатор; *4* — кабель.

Как известно, большинство наших телецентров излучает горизонтально поляризованные волны, и для приема таких волн ферритовые антенны должны устанавливаться вертикально. Внутри помещения электромагнитное поле имеет как вертикальную, так и горизонтальную поляризацию, и поэтому выбор соответствующего положения ферритовой антенны должен производиться опытным путем по качеству изображения. Следует иметь в виду, что диаграмма направленности ферритовой антенны при приеме горизонтально поляризованных волн круговая, т. е. антенна всенаправленна.

Компактная ферритовая антенна, в которой используются повторители, может быть очень удобно установлена в комнате. В частности, она может быть помещена в оконном проеме, где напряженность поля значительно выше, чем внутри комнаты. Экспериментальная проверка показывает, что даже простейшая ферритовая антенна (без катодных повторителей) обеспечивает удовлетворительный прием передач как в самой Москве, так и на расстоянии до 20 *км* от нее.

Более проста по конструкции апериодическая комнатная антенна, обладающая почти такими же приемными свойствами, как и настроенная антенна, но не требующая предварительной настройки. Апериодическая антенна состоит из ферритового сердечника с магнитной проницаемостью 400 или 250, антенной катушки, намотанной на каркасе, витка связи и симметрирующего трансформатора с индуктивным шлейфом, описанного ниже (см. стр. 62). Эскиз такой антенны и электрическая ее схема приведены на рис. 48. Сердечник антенны длиной 240 *мм* набран из цилиндрических столбиков диаметром 14,5 и высотой 16 *мм*, изготовленных из феррита 400НН. Он помещен в винипластовую трубку с внешним диаметром 20 *мм* и зажат с двух сторон, ввинчиваемыми в трубку пробками. Антенная катушка, состоящая из 3 витков провода ПЭ 0,8, намотанного с шагом 10 *мм*, соединена с конденсатором 2—7 *пф*. Виток связи расположен вблизи от антенной катушки; его концы выведены на трансформатор короткими (2—3 *см*) проводами. Вторичная обмотка трансформатора подсоединяется к коаксиальному кабелю (РК-1 длиной около 1 *м*), идущему к телевизору. К оплетке кабеля подпаивается и корпус трансформатора.

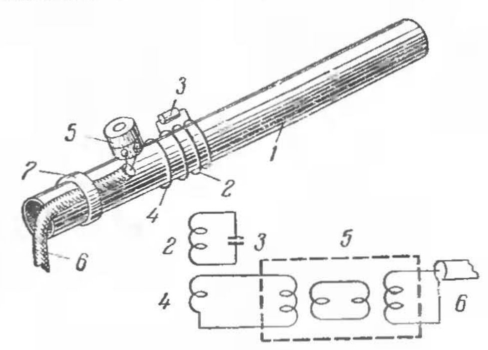


Рис. 48. Апериодическая ферритовая антенна.

1 — каркас; *2* — антенная катушка; *3* — конденсатор; *4* — виток связи; *5* — трансформатор; *6* — кабель; *7* — хомутик.

Антенна располагается на верхней крышке телевизора. Направленные свойства у нее выражены в условиях комнатного приема слабо (как, впрочем, и у всех других комнатных антенн). Такая антенна на частоте первой программы несколько уступает, а на частоте второй программы равна по приемным свойствам наиболее распространенной комнатной штыревой антенне и обеспечивает уверенный прием обеих программ московского телецентра в Москве и пригородах.

10. ШИРОКОДИАПАЗОННАЯ КОМПЕНСИРОВАННАЯ АНТЕННА

Как уже указывалось ранее, применение ферритов с целью компенсации позволяет расширить диапазон частот приемных антенн. С изменением частоты принимаемых сигналов входное сопротивление обычной антенны (при постоянной ее длине) также изменяется. Вследствие этого ухудшается передача энергии через кабель, так как нарушается согласование антенны с кабелем.

При отсутствии согласования антенны с кабелем, помимо уменьшения уровня сигнала на входе телевизора, на его экране может

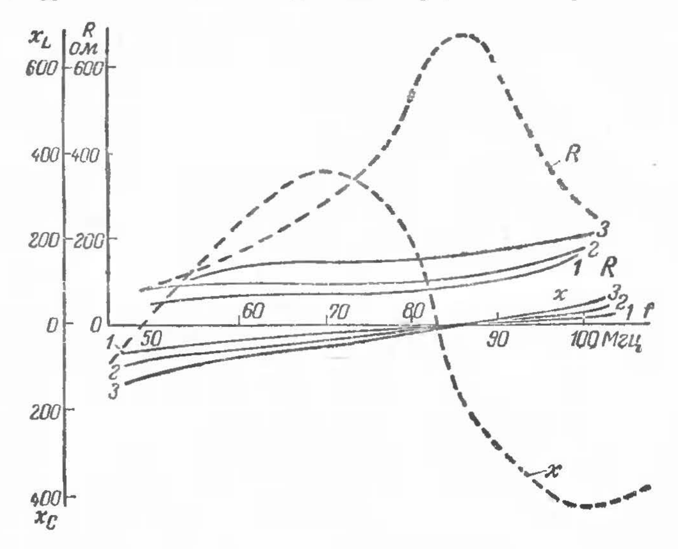


Рис. 49. Изменение входного сопротивления вибратора.

возникнуть несколько сдвинутых изображений. При настройке антенны на сигнал первой программы (длина вибратора около 3 *м*) ее входное сопротивление близко к 75 *ом* и хорошо согласуется с высокочастотным кабелем, волновое сопротивление которого также равно 75 *ом*. При приеме этой же антенной сигнала второй программы входное сопротивление ее составляет примерно 400—600 *ом* (в зависимости от диаметра полувибраторов), что приводит к нарушению согласования.

Расчеты показывают, что, применяя обычную антенну в диапазоне частот 50—100 *Мгц*, трудно получить значения коэффициента бегущей волны на крайних частотах диапазона больше чем 0,2—0,25. На рис. 49 пунктиром показано изменение активного и реактивного сопротивлений вибратора длиной 3 *м* в диапазоне частот 50—100 *Мгц*.

Применение в качестве компенсирующего элемента ферритовых колец позволяет существенно уменьшить реактивное сопротивление

антенны на концах диапазона и в то же время выравнять активное сопротивление вибратора. Ферритовое кольцо, надетое на полувибратор антенны, резко увеличивает индуктивность, что позволяет компенсировать емкостное сопротивление. При этом правильный выбор марки феррита обеспечивает изменение индуктивности антенны с частотой в желаемом направлении (индуктивность уменьшается с увеличением частоты). Наличие магнитных потерь также помогает

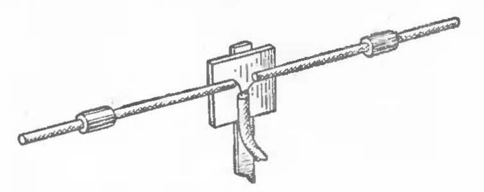


Рис. 50. Компенсированная антенна.

обеспечить постоянство активного сопротивления антенны в данном диапазоне частот.

Расположение компенсирующих ферритовых колец и их размеры существенно влияют на величину входного сопротивления антенны. В результате экспериментов были выбраны следующие размеры и марки ферритового элемента для антенны, входное сопротивление которой показано на рис. 49 сплошными линиями: наружный диа-

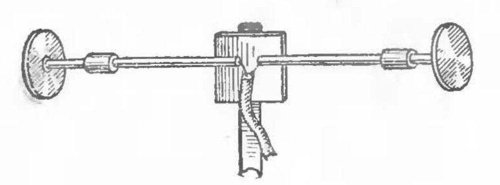


Рис. 51. Компенсированная антенна с емкостной нагрузкой.

метр 28 *мм*, внутренний диаметр 18 *мм*, высота 25 *мм*, феррит 1000НН или 600НН (в последнем случае высота кольца должна быть увеличена до 30 *мм*), длина полувибратора 85 *см*.

В зависимости от требующейся величины активного сопротивления расстояния ферритовых колец от концов полувибратора выбираются 250 *мм* (кривые *1*), 500 *мм* (кривые *2*) и 700 *мм* (кривые *3*). Коэффициент бегущей волны оказался не хуже 0,6—0,65 в диапазоне 50—80 *Мгц*. Ферритовые кольца укрепляются при помощи резиновых шайб, плотно насаженных на алюминиевые трубки полувибраторов. Конструкция такой антенны показана на рис. 50.

Дальнейшее расширение диапазона может быть достигнуто введением емкостной нагрузки на концах полувибраторов. Такая нагрузка может быть получена путем насадки на концы антенны круглых дисков или пучка стальных проволок, радиально расходящих-

ся от антенны. Радиус дисков (длина проволочек) берется порядка 25 *см*. Введение емкостной нагрузки благотворно сказывается на выходном сопротивлении антенны (оно снижается до 150 *ом*). В то же время частотный диапазон такой компенсированной антенны увеличивается до 100 *Мгц*. Длину полувибраторов надо несколько уменьшить (до 70—75 *см*). Конструкция компенсированной антенны с емкостной нагрузкой для диапазона 40—100 *Мгц* показана на рис. 51.

Для антенны с емкостной нагрузкой характерно приближение ферритовых насадок к концам полувибраторов. Хорошие результаты дает расположение насадок в 100—150 *мм* от дисков. При работе антенны на коаксиальный кабель необходимо применять симметрирующие трансформаторы, а также согласовывать входное сопротивление антенны с волновым сопротивлением кабеля.

11. АНТЕННА ПРИЕМНИКА ДЛЯ «ОХОТЫ НА ЛИС»

Соревнования, известные под названием «охота на лис», завоевали большую популярность среди радиолюбителей. Идея таких соревнований состоит в том, чтобы в течение кратчайшего времени с помощью радиоприемника направленного действия найти замаскированный передатчик.

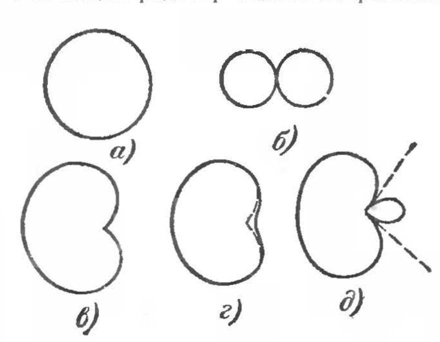


Рис. 52. Диаграммы направленности.

В этих соревнованиях удачно сочетаются спортивные элементы (выносливость, умение быстро ориентироваться и передвигаться по закрытой местности) с умением изготовить малогабаритный экономичный приемник с хорошей направленной антенной. В конструкции такой антенны обычно объединяются простейшая направленная антенна (рамка) с ненаправленной антенной (вертикальным штырем). Однако и в этом случае для получения высокой чувствительности необходимые размеры антенн получаются во много раз больше размеров приемника. Гораздо лучшие результаты дает применение ферритовой антенны. При этом легко получить и однонаправленность антенны без каких-либо добавочных конструктивных устройств.

Рассмотрим более подробно, как получается однонаправленная диаграмма в случае использования комбинированной антенны (рамки и штыря). Поскольку диаграмма направленности рамки — «восьмерка» (рис. 52,*б*) то однонаправленная диаграмма — кардиоида (рис. 52, *в*) может быть получена при сложении обоих сигналов — от рамки и от штыря (рис. 52,*а*) лишь тогда, когда э. д. с. их равны и фазы их совпадают. Последнее должно быть создано искусственным путем, так как обычно фазы различаются на угол $\pi/2$. Равенства амплитуд добиваются изменением действующей высоты штыря, а искусственного сдвига фазы — выбором вида связи обеих антенн (связь обычно берется индуктивной). Недостаток антенны — узкий рабочий диапазон, поэтому степень связи или амплитуду сигналов надо регулировать на каждой из рабочих частот, так как иначе пропадет нулевой прием (рис. 52,*г*) или образуются два минимума (рис. 52,*д*).

Применение ферритовой антенны, расположенной достаточно близко от оператора позволяет «использовать» корпус оператора как переизлучатель («штырь»). При этом связь между антеннами — ферритовой и ненаправленной (телом оператора) легко регулируется выбором соответствующего расстояния между ними. Наилучшая однонаправленность такой антенны получается в диапазоне метровых волн.

Ниже описывается ферритовая антенна приемника, предназначенного для «охоты на лис» в диапазоне 28—29 *Мгц*. Антенна собирается на двух стержнях из феррита 20ВЧ диаметром 12 и длиной 150 *мм*. Антенные катушки стержней наматываются на полистироловом каркасе прогрессивным шагом, так же как и в телевизионной антенне. Индуктивность катушки антенны составляет около 2,5 *мкгн*. Число витков в каждой катушке 18—20. Длина катушки 35—40 *мм*. На входе в таком приемнике целесообразно использовать лампу 1Ж17Б или 1Ж18Б. Ферритовую антенну следует включить по схеме с емкостным переходом (с разделительным конденсатором емкостью 5—6 *пф*). Длина соединительных проводов должна быть минимальной (не более 20—30 *мм* от антенны до сетки лампы). Приемник желательно выполнить небольшим по габаритам. Обычно с помощью ремней он подвешивается на груди «охотника за лисами».

Несколько советов, полезных при использовании такой антенны для «охоты на лис». Как уже говорилось выше, диаграмма направленности, точнее однонаправленность, регулируется изменением расстояния между телом оператора и антенной. Наилучшая диаграмма с выбранной антенной получается при расстоянии 7—8 *см* от корпуса оператора. Следует иметь в виду, что при приближении к передатчику сила сигнала даже на «минимуме» диаграммы направленности, т. е. при расположении оператора спиной к объекту поиска, возрастает настолько, что становится трудно отличить максимум от минимума. Чтобы облегчить поиски в этих условиях, целесообразно на время уменьшить чувствительность приемника. Это легко сделать, уменьшив анодное напряжение в усилителе промежуточной частоты.

Некоторые затруднения возникают при «охоте на лис» в лесу. Особенно это относится к крупноствольному лесу, где деревья отстоят друг от друга на 3—5 *м*. Поле электромагнитных волн имеет в этом случае интерференционный характер, что проявляется как в изменении силы сигнала, так и в изменении направления на передатчик, определяемого с помощью поискового приемника. В частности, если крупное дерево находится справа от оператора (на расстоянии до 3—4 *м*), то и направление прихода радиоволн отклонится вправо; если сзади, то минимум диаграммы «притупится». Целесообразно для более точного определения направления выбирать открытые места (просеки и поляны), а затем, выбрав ориентир или определив азимут передатчика, двигаться до следующего открытого места.

12. ФЕРРИТОВАЯ АНТЕННА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

До сих пор, описывая различные антенные устройства на ферритах и упоминая о диаграмме направленности их, мы основное внимание уделяли эффективности антенны. Направленность же антенны была вспомогательным фактором.

Однако в ряде случаев возможность получения направленной антенны становится основным, решающим фактором, обусловливающим необходимость применения ферритовой антенны. Точное определение направления прихода радиоволн, знание азимута передатчика очень важно в навигации — морской и воздушной, при воздушных полетах в условиях плохой видимости и пр. Открытая советскими спутниками Земли эра космических полетов еще более повышает интерес к радионавигации. Миллионы людей во всем мире с восхищением наблюдали за движением спутников визуально. Применение средств радионаблюдения с точным определением направления прихода радиоволн, излучаемых спутниками, расширяет возможности научных наблюдений и может дать ценные сведения о траектории движения спутников, об особенностях распространения радиоволн и т. п.

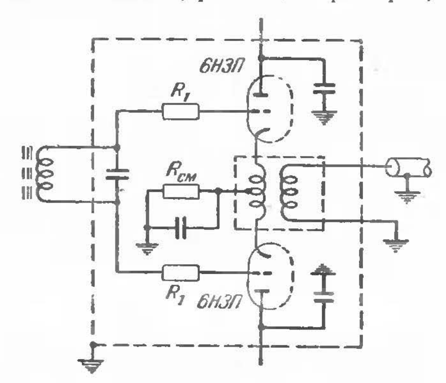


Рис. 53. Схема ферритовой антенны для определения направления прихода радиоволн в диапазоне ультракоротких волн.

Ниже описывается простейшая ферритовая антенна для определения направления прихода радиоволн (азимута) на частоте 40 *Мгц*. В такой антенне необходимо принять специальные меры, предотвращающие искажение диаграммы направленности, а также влияние самого оператора (вследствие антенного эффекта) на результаты радионаблюдения. Под антенным эффектом обычно понимается отсутствие полной симметрии антенны, проявляющееся в виде ошибок при определении азимута, а также в виде нечеткого нуля диаграммы, что также ухудшает результаты радионаблюдений. Азимут радиопередатчика определяется установкой антенны в такое положение, когда сила сигнала минимальна. Это положение антенны относительно направлений магнитного меридиана отмечается по специальной угловой шкале в градусах.

Электрическая схема антенны приведена на рис. 53. Антенный контур (три антенные катушки, намотанные на трех параллельных стержнях, и конденсатор) подключен к входу двухтактного катодного повторителя. В катодной его цепи включен симметрирующий трансформатор, обеспечивающий переход от симметричной схемы к несимметричному кабелю. В этом каскаде может быть использован двойной триод 6Н3П или же две лампы 1Ж17Б. Кабель подключается к несимметричному входу обычного приемника. В сеточных цепях триодов включены сопротивления (типа УЛИ) в несколько ом для предотвращения самовозбуждения.

Для устранения антенного эффекта антенный контур вместе с входными лампами и трансформатором заключается в металлический экран (жесть, латунь) с щелью, проходящей через весь экран параллельно антенным стержням. При монтаже устройства следует обеспечить максимальную блокировку цепей питания накала и анода по высокой частоте. Поворотное устройство антенны должно обеспечивать поворот на угол до 200°. В нем необходимо установить упоры, предохраняющие кабель от перекручивания.

К выбору стержней для антенны следует подходить с точки зрения получения максимальной ее эффективности. Хорошие результаты дает антенна, собранная на стержнях диаметром 25 *мм* с проницаемостью 20. Длина сердечников 250 *мм* (они собраны из четырех столбиков длиной 60—65 *мм* каждый). Число витков антенных катушек равно 12 при шаге намотки 10 *мм*.

Неудобство описанной схемы заключается в необходимости дополнительной подстройки. После поиска нужной радиостанции на ненаправленную антенну для определения направления следует произвести переключение с ненаправленной на ферритовую антенну и затем подстроить ее.

Определить направление можно и с помощью ненастроенной антенны. Антенная катушка при этом связывается посредством короткого кабеля с входным контуром, который и настраивают на радиостанцию. Помимо поворотной магнитной антенны, иногда делают и неподвижную антенну систему из ферритовых антенн, используя в этом случае гониометр. Антенная система в этом случае представляет собой две взаимно перпендикулярные антенны (или две группы параллельно включенных антенн). Выводы каждой антенной катушки подсоединяются к неподвижным катушкам гониометра, в то время как «искательная» катушка, являющаяся как бы поворотной антенной, входит во входной контур.

Описанный в зарубежной печати коротковолновый гониометрический пеленгатор с ферритовыми антеннами имел две группы по восемь ферритовых антенн в каждой. Сердечники антенн длиной около 30 и диаметром 1,5 *см* располагались в двух «этажах» (сердечники одной группы над сердечниками другой). Размеры такой системы в собранном виде составляли 350×350××40 *мм*.

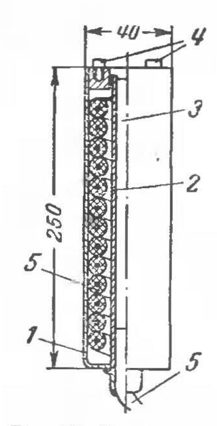


Рис. 54. Симметрирующее устройство

1 — корпус, *2* — направляющая втулка; *3* — ферритовый стержень; *4* — выходные зажимы; *5* — кабель.

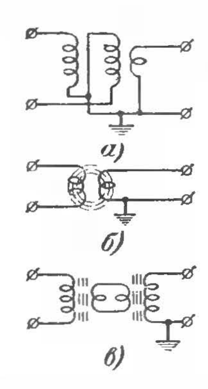


Рис. 55. Симметрирующие антенные трансформаторы

а — трансформатор без сердечника; *б* — трансформатор на торе (кольце); *в* — трансформатор с индуктивным шлейфом (объемным витком).

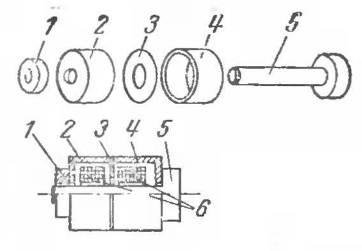


Рис. 56. Конструкция трансформатора с индуктивным шлейфом.

1 — гайка; *2* и *4* — чашки корпуса; *3* — разделительная шайба; *5* — стяжной болт, *6* — обмотки.

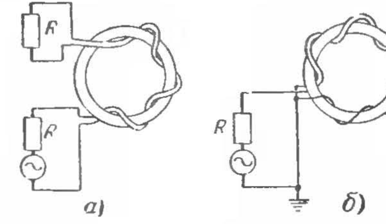


Рис. 57. Схема трансформаторов, использующих принцип длинной линии.

13. СИММЕТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

В телевидении наиболее распространены симметричные антенны (горизонтальный вибратор и его модификации). Вход телевизоров обычно несимметричен, и для связи антенны с телевизором используют в большинстве случаев несимметричный коаксиальный кабель. При прямом соединении симметричной антенны с несимметричным входом телевизора таким кабелем возникают потери энергии, ослабляется чувствительность установки и создаются многократные отражения. Для избавления от подобных явлений применяется простейшее симметрирующее устройство типа U-колена, а также так называемый «запирающий стакан», не имеющий ряда конструктивных недостатков U-колена. Однако оба эти устройства являются узкодиапазонными.

Применяя ферриты, можно изготовить более компактное симметрирующее устройство с достаточно простой перестройкой в широком диапазоне частот. На рис. 54 показано такое устройство в разрезе. Как видно из рисунка, соединительный кабель в стакане уложен спирально. Этим достигается значительное «укорачивание» размеров устройства. В устройстве без феррита спираль из кабеля РК-1 имеет 13 витков, внешний диаметр ее равен внутреннему диаметру стакана (40 *мм*), выполненного из дюралюминиевой трубы (высота стакана 250 *мм*).

На верхнюю крышку устройства, изготовленную из высокочастотного диэлектрика (полистирола или органического стекла), выводятся к соответствующим зажимам жила и оболочка кабеля. К этим же зажимам присоединяются и выводы вибратора антенны. Нижняя латунная крышка плотно соединена со стаканом. Если уменьшить внешний диаметр спирали до 25 *мм* и увеличить число витков до 20, то симметрирующее устройство можно настроить на частоту 75 *Мгц*.

Более совершенно и удобно в эксплуатации симметрирующее устройство, в котором используется ферритовый сердечник для перестройки, введенный внутрь спирали. Перемещая сердечник с помощью простейшего механизма, можно изменять частоту настройки устройства без изменения размеров спирали. Внутрь спирали вводится также направляющая втулка, облегчающая перемещение ферритового сердечника. В этом устройстве использован сердечник из феррита 600НН диаметром 8 и длиной 200 *мм*. Введение стержня позволило плавно изменять частоту настройки симметрирующего устройства от 42 до 85 *Мгц*.

14. АНТЕННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НА ФЕРРИТАХ

Как уже неоднократно указывалось, антенные трансформаторы, используемые для подключения несимметричного кабеля к симметричной антенне, играют важную роль в схемах с применением ферритовых антенн. Назначение их не только в трансформации сопротивлений сопрягаемых элементов, но и в обеспечении перехода от симметричной антенны к несимметричному входу приемника.

Особые трудности возникают при изготовлении трансформаторов в коротковолновом и ультракоротковолновом диапазонах, где различия в значениях паразитных емкостей частей обмотки приводят к нарушению симметрии антенны, что вызывает появление антенного эффекта, неопределенности нуля диаграммы и пр.

Простейшим таким устройством можно считать трансформатор без сердечника (рис. 55, *а*). Однако такой трансформатор из-за большой индуктивности рассеяния имеет весьма малый диапазон частотного перекрытия. Лучше в этом отношении антенный трансформатор с обмотками на ферритовом торе (рис. 55, *б*), а еще лучше трансформатор с индуктивным шлейфом (рис. 55, *в*), которому свойственна высокая симметрия, так как емкостная связь между его обмотками сведена до минимума.

Устройство трансформатора с индуктивным шлейфом показано на рис. 56. Как видно из эквивалентной схемы трансформатора (рис. 55, *в*), связь между первичной и вторичной его обмотками, расположенными на тороидальных сердечниках, изготовленных из магнитного материала с большой проницаемостью, осуществляется при помощи объемного витка (индуктивного шлейфа), образованного корпусом (экраном) трансформатора и центральным стержнем, стягивающим всю конструкцию. Корпус трансформатора и центральный стержень выполнены из посеребренной латуни.

Экспериментальное исследование различных конструкций показало, что конструкция с индуктивным шлейфом содержит в себе большие потенциальные возможности, позволяя значительно улучшить параметры антенных трансформаторов в широком диапазоне частот.

Рассеяние в трансформаторе с индуктивным шлейфом уменьшено благодаря применению ферритовых тороидальных сердечников с большой проницаемостью, особой намотки обмоток тороидов (пучком параллельных проводов, закрывающих большую часть поверхности тороидов) и высокой связи между обмотками и объемным витком, что достигается особой конструкцией витка-экрана, в основу которой заложено стремление приблизить экран к обмоткам.

Решающим фактором, обеспечивающим расширение диапазона частот антенного трансформатора, оказывается правильный выбор магнитного материала сердечников. Изучение особенностей поведения магнитных материалов в широком диапазоне частот показало, как уже неоднократно говорилось, что, начиная с некоторой (граничной) частоты, магнитная проницаемость материала начинает постепенно уменьшаться при увеличении частоты. Работа на этом участке магнитной характеристики сулит известные перспективы с точки зрения расширения рабочего диапазона частот трансформатора, так как в этой области замедляется рост реактивного сопротивления при увеличении частоты. Между тем, в известных до сих пор устройствах это свойство ферритов не использовалось, очевидно, вследствие больших потерь, которыми сопровождается переход в эту область частот. Более того, частота, после которой магнитная проницаемость начинала падать, считалась обычно конечной границей рабочего участка для данного типа материала. Выбирая для антенного трансформатора ферриты соответствующей проницаемости, мы получаем возможность увеличить его рабочий диапазон частот.

Размеры антенного трансформатора, в котором используется этот принцип, выбирают, исходя из размеров имеющихся стандартных ферритовых колец, а также руководствуясь конструктивными требованиями. Как показывает практика, наилучшими получаются трансформаторы, у которых зазоры между кольцами и корпусом трансформатора составляют 1—2 *мм*. Для уменьшения емкостной связи между кольцами устанавливается электростатический экран (диск с отверстием), диаметр которого несколько превышает диаметр стяжного болта. Хорошие результаты в ультракоротковолновом диапазоне (30—70 *Мгц*) дает трансформатор на кольцах из феррита 600 НН с внешним диаметром 11 и внутренним 6 *мм* при ширине кольца 5 *мм*. Число витков в обмотках трансформатора обычно берется от 10 до 20 (в зависимости от диапазона и назначения трансформатора). Корпус с внешним диаметром 15 и внутренним 12 *мм* изготавливается из латуни. Поверхность его покрывается серебром. Диаметр стяжного болта 5 *мм*.

Интересны трансформаторы на ферритах, представляющие собой сочетание длинной линии и идеального трансформатора. Принцип действия такого трансформатора поясняется на рис. 57, *а*. Его обмотки, образующие длинную линию, намотаны бифилярно, что обеспечивает коэффициент передачи, близкий к единице в широком диапазоне частот (от 100 *кгц* до сотен мегагерц). В этом трансформаторе фаза колебания, поданного на вход, может быть повернута на 180° путем выбора точки заземления на выходе. Достоинством такого трансформатора является также независимость его параметров от тока подмагничивания и амплитудной нестабильности ферритов.

В таких трансформаторах обычно применяют ферритовые сердечники с высокой начальной проницаемостью, что позволяет использовать в диапазоне радиочастот падающий участок частотной характеристики магнитной проницаемости. В этом случае ферритовый сердечник трансформатора является средой, изменяющей параметры длинной линии в сторону улучшения передачи энергии.

Рассмотренные трансформаторы просты в изготовлении и имеют малые размеры. Так, например, симметрирующий трансформатор (рис. 57, *б*) для диапазона частот 20—100 *Мгц* изготавливается на ферритовых (600 НН или 400 НН) кольцах с внешним диаметром 12,5 *мм*. Он состоит из 3—4 витков обмотки, намотанной бифилярно, и такого же количества витков симметрирующей обмотки из литцендрата 7×0,1. Расстояние между проводами бифилярной обмотки берется минимальным и строго выдерживается по всей длине кольца. Подобный трансформатор обеспечивает коэффициент симметрии от 100 до 15—20 при условии постоянства входного и выходного сопротивлений.

Хорошие результаты дает трансформатор сопротивлений 1 : 4, показанный на рис. 57, *в*. Он состоит из 5 витков бифилярной обмотки, аналогичной обмотке вышеописанного трансформатора. Применяя в этом трансформаторе тороидальные сердечники из феррита 600НН или 1000НН с внешним диаметром 10—20 *мм*, удается получить высокую точность трансформации сопротивлений (и напряжений) в диапазоне частот 1—50 *Мгц*.
